



УНИВЕРЗИТЕТУ НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

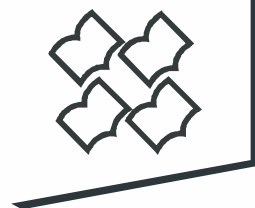
ОСНОВИ ИСХРАНЕ ЖИВОТИЊА



Основи исхране животиња

Проф. др Драган Гламочић
Проф. др Игор Јајић
Доц. др Мирко Ивковић





Проф. др Драган Гламочић
Проф. др Игор Јајић
Доц. др Мирко Ивковић

ОСНОВИ ИСХРАНЕ ЖИВОТИЊА



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

НОВИ САД, 2019

ЕДИЦИЈА ОСНОВНИ УЏБЕНИК

Оснивач и издавач Едиције

*Пољопривредни факултет, Нови Сад,
Трг Доситеја Обрадовића 8, 21000 Нови Сад*

Година оснивања
1954.

Главни и одговорни уредник Едиције

*Др Недељко Тица, редовни професор,
Декан Пољопривредног факултета.*

Чланови Комисије за издавачку делатност

*Др Љиљана Нешић, редовни професор, председник
Др Бранислав Влаховић, редовни професор, члан
Др Милица Рајић, редовни професор, члан
Др Нада Плавша, ванредни професор, члан*

Аутори

Др Драган Гламочић, *редовни професор*

Др Игор Јајић, *ванредни професор*

Др Мирко Ивковић, *доцент*

Главни и одговорни уредник

Др Недељко Тица, *редовни професор,*

Декан Пољопривредног факултета у Новом Саду

Уредник

Др Снежана Тривуновић, *редовни професор,*

директор Департмана за сточарство,

Пољопривредни факултет у Новом Саду

Технички уредник

Др Игор Јајић

Обрада насловне стране

Др Мирко Ивковић

Рецензенти

Др Милош Беуковић, *редовни професор*

Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет

Др Бојан Стојановић, *ванредни професор*

Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет

Издавач

Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Нови Сад

Забрањено прештампавање и фотокопирање. Сва права задржава издавач.

Штампа: Фелтон, Нови Сад

Штампање одобрила: Комисија за издавачку делатност,

Пољопривредни факултет, Нови Сад.

Тираж: 20

Место и година штампања: Нови Сад, 2019.

Наставно-научно веће Пољопривредног факултета у Новом Саду, на VI седници одржаној дана 27.02.2019., одобрило је издавање уџбеника „Основи исхране животиња“ аутора проф. др Драгана Гламочића, проф. др Игора Јајића и доц. др Мирка Ивковића.

CIP - Каталогизација у публикацији
Библиотека Матице српске, Нови Сад

636.085/.087(075.8)

ГЛАМОЧИЋ, Драган

Основи исхране животиња / Драган Гламочић, Игор Јајић, Мирко Ивковић. - Нови Сад : Пољопривредни факултет, 2019 (Нови Сад : Фелтон). - 266 стр. : илустр. ; 24 см. - (Едиција Основни уџбеник / Пољопривредни факултет, Нови Сад)

Тираж 20. - Библиографија.

ISBN 978-86-7520-450-3

1. Јајић, Игор [аутор] 2. Ивковић, Мирко [аутор]

а) Домаће животиње - Исхрана

COBISS.SR-ID 328270599

Предговор

Основи исхране животиња је уџбеник који је писан према наставном програму предмета Основи исхране животиња који се слуша на студијском програму за Сточарство. Самим тим, намењен је да се на одговарајући начин, након више година, задовоље потребе студената смера Сточарство за уџбеничком литературом.

Уџбеник има задатак да са гледишта савремене сточарске производње, интегрише основна теоретска знања о начину искоришћавања хране и хранљиве вредности појединих састојака хране и да на тај начин пружи студентима основну информацију о подручју исхране која је неопходна за потпуније разумевање потреба животиња и правилне исхране у производњи појединих врста и категорија животиња. Такође, циљ уџбеника је да након усвајања основних знања из области исхране, студенти далеко лакше савладају изазове који их очекују из уже стручних предмета попут Хранива и технологије сточне хране, Исхране преживара, Исхране непреживара, као и курса Квалитет и безбедност сточарских производа који их очекују на вишим годинама студија.

Приликом израде овог уџбеника коришћени су бројни извори научне и стручне литературе, пре свих страни и домаћи уџбеници, практикуми, као и оригинални научни радови који студентима додатно могу послужити за детаљније информације о основним проблемима из области исхране животиња.

Свесни да овај уџбеник има недостатака, да може бити бољи, аутори ће на свим примедбама, предлозима и сугестијама бити изузетно захвални и истрајати у жељи да му у наредним издањима побољшају квалитет.

Захваљујемо се свима колегама и сарадницима који су својим учешћем на било који начин помогли израду овог уџбеника. Посебну захвалност изражавамо рецензентима проф. др Милошу Беуковићу и проф. др Бојану Стојановићу, који су својим коментарима и сугестијама допринели да овај уџбеник буде у значајној мери квалитетнији.

Нови Сад, јануар, 2019.

Аутори

Извод из рецензије

Овај уџбеник представља драгоцену штито, како за студенте, који се први пут сусрећу са појмом исхране животиња и које треба да уведе у науку о исхрани животиња, тако и за све оне који су у научном и стручном погледу оријентисани на исхрану животиња. Књига је савремено конципирана, дајући све неопходне информације о појмовима који су значајни за исхрану животиња, за процену хранљиве вредности хранива и оброка, као и хранидбених потреба животиња. У књизи је детаљно разматран сам појам исхране животиња, као један комплексан процес, а који представља неопходну компоненту целокупног метаболизма карактеристичног за животињске организме. Детаљно су изложени значај и улога свих неопходних хранљивих материја, са освртом и на практичну исхрану животиња непреживара и преживара. Указано је и на метаболичке и здравствене поремећаје који се јављају када оброци нису адекватно избалансирани за садржај појединих хранљивих састојака. Приказане су савремене и актуелне методе за аналитичко одређивање појединих састојака хране за животиње. Посебан акценат је дат значају енергије у исхрани животиња и методама процене енергетске вредности хране за животиње. У књизи су дати и основни постулати који су значајни за експериментална истраживања у оквиру науке о исхрани животиња, пре свих на пољу егзактног одређивања сварљивости хране, затим билансних испитивања, истраживања везаних за дефинисање потреба гајених животиња у хранљивим материјама и енергији, а све у циљу што ефикасније, и економски оптималне исхране животиња. Приказани су и актуелни модели за дефинисање хранидбених потреба и хранљиве вредности хранива и оброка, што је основни предуслов за формулисање и прецизно балансирање оброка за гајене животиње. Да се ради о модерном уџбенику, указује и значајна новина, а то је поглавље које се односи на основе истраживања у науци о исхрани, главним принципима организовања хранидбених огледа и основама експерименталне анализе када су у питању истраживања у области исхране животиња. Књига пред Вама, својом свеобухватношћу свакако превазилази основну намену уџбеника за предмет Основи исхране животиња, те стога може и треба да чини незаобилазни део литературе за предмете који се односе на практичну исхрану животиња непреживара и преживара.

Проф. др Бојан Стојановић

Скраћенице

ACTH	adrenocorticotropic hormone	аденокортикотропни хормон
ADF	acid detergent fiber	кисела детергентска влакна
ADP	adenosine diphosphate	аденозин дифосфат
ATP	adenosine triphosphate	аденозин трифосфат
BEM		безазотне екстрактивне материје
CP	crude protein	сирови протеин
DCP	digestible crude protein	сварљиви сирови протеин
DNA	deoxyribonucleic acid	дезоксирибонуклеинска киселина
EDTA		етилendiамин тетрасирћетна киселина
NDF	neutral detergent fiber	неутрална детергентска влакна
NFC	non-structural carbohydrates	нефиброзни угљени хидрати
NIR	near infrared reflectance	блиска инфрацрвена сфлектрофотометрија
NPN	non-protein nitrogen	непротеински азот
NSC	non-structural carbohydrates	неструктурни угљени хидрати
RNA	ribonucleic acid	рибонуклеинска киселина
SCH	structural carbohydrates	структурни угљени хидрати
TDN	total digestible nutrients	укупне сварљиве хранљиве материје
TFA	trans fatty acids	транс масне киселине
VFA	volatile fatty acids	испарљиве масне киселине

Садржај

1. Увод.....	1
Предмет, циљ и развој науке о исхрани животиња.....	1
Значај исхране животиња у савременој пољопривреди.....	3
2. Животиња и њена храна	4
2.1. Састав животиња	4
2.2. Састав биљака.....	9
2.3. Састав хране животиња	10
3. Хранљиве материје и њихов метаболизам.....	15
3.1. Вода.....	16
3.2. Угљени хидрати.....	28
3.2.1. Класификација и својства угљених хидрата.....	28
3.2.2. Метаболизам угљених хидрата у непреживара.....	39
3.2.3. Метаболизам угљених хидрата у преживара.....	43
3.2.4. Поремећаји у метаболизму угљених хидрата.....	52
3.3. Масти.....	55
3.3.1. Класификација и својства масти	59
3.3.2. Метаболизам масти у непреживара	66
3.3.3. Метаболизам масти у преживара	67
3.3.4. Биосинтеза масти	69
3.4. Протеини.....	74
3.4.1. Класификација и својства протеина.....	74
3.4.2. Аминокиселине.....	78
3.4.3. NPN једињења.....	81
3.4.4. Метаболизам протеина у непреживара.....	84
3.4.5. Метаболизам протеина у преживара.....	88
3.4.6. Протеинска вредност хранива и оброка	94
3.5. Витамини.....	103
3.5.1. Витамини растворљиви у мастима	106
3.5.2. Витамини растворљиви у води	123
3.5.3. Витаминима сличне материје.....	144
3.6. Минералне материје	148
3.6.1. Макроелементи.....	154
3.6.2. Микроелементи.....	175
3.6.3. Остали минерални елементи	196
3.6.4. Токсични минерали у храни за животиње	199
4. Како стичемо знања о исхрани животиња?	205
4.1. Хранидбени огледи.....	206
4.2. Испитивања сварљивости.....	210
4.3. Билансна испитивања	218
4.4. Енергија и биланс енергије.....	220
5. Како хранити животиње?	225
5.1. Предвиђање нутритивних потреба животиња	226
5.2. Оцена квалитета хране за животиње.....	230
5.3. Оцена енергетске вредности хране за животиње	250
5.4. Усклађивање састава хране са потребама животиња	257
6. Литература	263

1. УВОД

ПРЕДМЕТ, ЦИЉ И РАЗВОЈ НАУКЕ О ИСХРАНИ ЖИВОТИЊА

Предмет исхране животиња је изучавање природе хранива и хранљивих материја присутних у њима, као и потребе различитих врста и категорија животиња у хранљивим материјама. Као основа од које се полази је реална претпоставка да је организам животиња изграђен из готово истих хемијских материја као и организам биљака.

Већа примена најновијих достигнућа у области хемије и биохемије имала је за последицу обogaћивање новим знањима и велики напредак у исхрани животиња. Веће укључивање хемије, истовремено означава и почетак нове ере исхране животиња, односно боље је упозната природа хранива, а тиме и присутне хранљиве материје и потребе животиња у њима. Употреба модерних аналитичких метода и техника је омогућило откривање минералних елемената у веома малим концентрацијама ($\mu\text{g/kg}$), што је обезбедило добијање детаљније и потпуније информације о метаболизму хранљивих материја и потребама животиња у њима, у свим фазама животног циклуса.

Боље познавање потреба животиња дошло је и као резултат повећане примене физиологије у исхрани животиња. Потпунија физиолошка објашњења функције варења, покрета мускулатуре, репродукције и лактације, са одговарајућим хемијским објашњењима, омогућила су боље повезивање хране и исхране са здрављем и производним особинама животиња. Већа примена различитих хемијских и физиолошких метода омогућила је да се нека од нутритивно дефицитарних стања успешно могу отклонити одговарајућом исхраном. Данас се поуздано зна да је у храни различитих врста животиња неопходно присуство угљених хидрата, масних киселина, аминокиселина, минералних елемената и витамина, од којих неки служе као извори енергије, а други као есенцијалне материје неопходне у метаболизму животиња. Но, и поред тога, још увек недостају одређена сазнања у исхрани животиња.

Утврђивање присуства микроорганизама у органима за варење преживара и њихова способност варења веће количине целулозе, јасно је показало да оброци ових животиња треба да буду адекватни у садржају целулозе за исхрану симбиотске микрофлоре. Овим је исхрана преживара проширена и на подручје микробиологије. Такође, треба имати у виду да генетика, статистика и информатика играју важну улогу у савременој исхрани животиња. Тако, нпр. постојање одређених разлика између појединих животиња, када је у питању непосредна реакција на конзумирану храну, генетског је порекла. Стога, објашњење узрока и порекла ових варијација, захтева неопходну примену одређених статистичких метода ради извођења поузданих закључака.

У својој основи исхрана представља велики број различитих процеса, којима организам животиње уноси храну и искоришћава присутне хранљиве материје за обезбеђење пораста и замену телесних ткива. Адекватно објашњење ових процеса захтева укључивање и већу примену различитих научних дисциплина, као што је то

приказано на слици 1. На слици су приказане фундаменталне научне дисциплине које се користе у савременој исхрани. Њихово коришћење омогућава боље разумевање природе и улоге хранљивих материја, а тиме и потпуније балансирање obroka и обезбеђење потреба животиња. Учесће и значај ових научних дисциплина у исхрани животиња из дана у дан постају све већи и значајнији.

Захваљујући већем и ефикаснијем коришћењу најновијих достигнућа из сродних научних дисциплина, животиње се адекватније хране што има за последицу ефикаснију производњу. Из овога јасно произилази да савремени нутриционисти морају поседовати неопходна знања из ових научних дисциплина, а у циљу што шире практичне примене у исхрани животиња. Нутриционисти данас морају располагати неопходним знањима о хранљивим материјама, њиховим хемијским и хранљивим својствима, функцији и присуству у различитим хранивима, као и њиховом метаболизму. Исто тако, неопходно је добро познавати специфична својства различитих врста и категорија животиња, њихову физиологију, генетику и микробиологију.



Слика 1. Дисциплине укључене у савремену исхрану животиња.

Напредак у науци имао је за непосредну последицу стално побољшање исхране, што је довело до ефикасније производње животиња. Такође је учињен и значајан напредак у генетици и условима држања животиња. Унапређење у формулацији obroka, искоришћавању хранљивих материја и повећању ефикасности производње, остварено је у свих врста и категорија животиња.

Захваљујући брзом развоју фундаменталних научних дисциплина идентификована је већина потребних хранљивих материја у храни животиња, неопходних за пораст, репродукцију и одржавање основних животних функција. Данас је познато да животиње хранене са добро избалансираним оброцима који садрже све познате хранљиве материје, са успехом могу одржавати пораст и репродукцију. Упркос брзом развоју науке о исхрани животиња, одређени проблеми везани за исхрану тек треба да буду разјашњени. Тако, на пример, неопходна су даља истраживања о интеракцији специфичних хранљивих материја, затим односу исхране и генетике, различитих обољења и других фактора, укључујући и факторе спољашње околине и физиолошке факторе који утичу на биодоступност хранљивих материја хране. Наука о исхрани животиња, заједно са осталим биолошким наукама још не

располаже експерименталним поступцима, који поседују такву прецизност која је присутна у физичким наукама. Разлог овоме је, пре свега, постојање значајне биолошке варијабилности између појединих животиња. Код свих животиња, са изузетком генетски потпуно идентичних близанаца, при излагању две животиње једне врсте истим спољашњим условима, оне често различито реагују. У складу са тим, потребе у хранљивим материјама и њихово коришћење различито је у различитих животиња. Примена савремених метода данас омогућава формулисање obroка животиња или њихово допуњавање различитим хранивима и адитивима који обезбеђују адекватно конзумирање хране. Овако формулисани obroци морају обезбедити адекватне и избалансиране нивое хранљивих материја, са најнижим трошковима исхране за одређени ниво производње животиња.

ЗНАЧАЈ ИСХРАНЕ ЖИВОТИЊА У САВРЕМЕНОЈ ПОЉОПРИВРЕДИ

Брз пораст броја становника на планети и ограничени природни ресурси, представљају у будућности највећи изазов за пољопривреду и људско друштво у целини. Обезбеђење адекватних количина хране у великој мери зависи од сталног развоја истраживања у пољопривреди и сродним дисциплинама, као и примене нових знања у циљу производње високо вредне и здравствено исправне хране. Коришћење производа животиња у исхрани људи у складу је са порастом економског статуса становника. Храна животињског порекла омогућава конзумирање хранљивих материја високе биолошке вредности и сварљивости. Најновије информације јасно показују да би смањење броја животиња у пољопривреди довело до озбиљних поремећаја еколошке равнотеже и стварања економске нестабилности у свету.

Данас смо сведоци да савремена пољопривредна производња доприноси све већем загађењу природне средине. Удео сточарске производње, самим тим и исхране животиња у томе је веома значајан. У савременој исхрани треба подстицати употребу одређених адитива који ће омогућавати већу биодоступност појединих хранљивих материја и на такав начин смањивати употребу минералних хранива. Овде се пре свега мисли на употребу ензима, попут фитазе, који ће побољшати доступност најзначајних минерала из биљних хранива, као и органски везаних минерала (хелата) који ће смањити употребу неорганских извора минерала. Такође, употребом синтетичких аминокиселина се може значајно смањити употреба биљних хранива, а самим тим и коришћење великих пољопривредних површина за њихову прозводњу. Значајан проблем данашње екологије су гасови стаклене баште. Познато је да гасови који настају у бурагу преживара дају значајан допринос загађењу животне средине кроз гасове стаклене баште, тиме што чак 65,5% гасова у бурагу чини угљен диоксид, док 26,8% припада метану. Употребом кабастих хранива веће сварљивости и доброг квалитета, може се значајније утицати на смањење емисије гасова стаклене баште од стране преживара. Свакако да је ово тема која ће у наредним годинама и деценијама бити предмет бројних испитивања.

2. ЖИВОТИЊА И ЊЕНА ХРАНА

2.1. САСТАВ ЖИВОТИЊА

Исхрана животиња укључује бројне и веома сложене биохемијске и физиолошке процесе трансформације хранљивих материја хране у материје животињског организма. Стога је од посебног значаја познавање хемијског састава организма животиња и његов однос према саставу хране. Познавањем састава животиња и хранива може се добити поуздана слика свих процеса трансформације хране у току исхране животиња.

За нормално одвијање свих животних процеса, животиње непрестано морају узимати храну. Храна животиња састоји се претежно од биљака и њихових производа. Узимањем хране биљног порекла, енергија из ње се користи за одржавање телесних функција (дисање, циркулација крви и активност нервног система), пораст телесних ткива и изградњу различитих производа (млеко, месо, вуна, јаја).

За разлику од биљних, ткива различитих врста животиња имају готово исти хемијски састав. Тако, нпр. садржај калцијума и фосфора у коштаном ткиву је исти у свих врста животиња. Мада количина пепела у једном храниву биљног порекла не представља поуздан индикатор садржаја ових минералних елемената, подаци о садржају пепела у костима представљају веома корисну индиректну меру за оцену садржаја ових елемената. Затим, садржај аминокиселина у протеинима мишића различитих врста животиња је потпуно идентичан. Због тога, нутритивна вредност чистог меса (мишића) из свих извора приближно је иста, што није случај са протеинима биљног порекла. Колебања у саставу тела су поприлична и зависе од старости и ухрањености животиња (табела 1).

Табела 1. Просечан хемијски састав тела говеда, оваца и свиња (Ensminger и сар., 1990).

Врста	Број животиња	Промене садржаја тела, без органа за варење			
		Вода %	Масти %	Протеини %	Пепео %
Говеда	256	39,8-77,6	1,8-44,6	12,4-20,6	3,0-6,1
Овце	221	39,6-73,8	4,9-46,6	10,7-19,5	1,7-5,8
Свиње	714	30,7-80,8	1,1-61,5	8,3-19,6	1,4-5,6

Састав тела различитих врста животиња показује извесна варирања, стим да су разлике мање када је у питању садржај протеина и пепела, а значајније када је у питању садржај масти и воде.

Вода. Вода је присутна у свим ћелијама животињског организма. Садржај воде у телу животиња показује велика колебања и под утицајем је великог броја различитих фактора. Око 75% масе мишићног ткива чини вода, док маст садржи свега 10-15% воде. Садржај воде у телу животиње варира и умногоме зависи од удела ове две врсте ткива, те је највећи у младих меснатих, а најмањи у одраслих и угојених животиња. Изразито утовљене животиње садрже знатно мање количине воде од мршавих. Тако, нпр. утовљено јуне и свиња садрже око 25% масти и само 55% воде. Насупрот овима, мршаво јуне, са свега 18% масти, садржи 57% воде, док угојено јуне, које садржи 41% масти, има само 41% воде.

Извори воде за животиње су: *вода за пиће, вода присутна у храни и метаболичка вода*. Количина произведене метаболичке воде износи око 5-10% од укупне

количине конзумиране воде. Животиње губе воду фецесом, урином, знојем, излученим млеком и дисањем. Бремените животиње депонују велике количине воде у утерусу, а нарочито у току задње фазе гравидности.

У организму животиња вода је најважнија компонента свих телесних течности и унутрашњих секрета. У преживара се велика количине воде излучује у дигестивни тракт, плувачком и соковима за варење. Мада се велики део ове воде касније реапсорбује из дигестивног тракта, губици воде фецесом су знатно већи у преживара него у других врста животиња.

Масти. У телесним ткивима животиња присутни су различити типови масти. Масти животињског организма карактерише велико учешће засићених масних киселина, због чега су ове масти претежно у чврстој форми. Велика количина масти је присутна у адипозном ткиву, у депоима масти који се налазе испод коже, око бубрега, црева и других телесних органа. Извесне количине масти, такође су присутне у различитим органима (јетра, бубрези, срце и плућа), док се мање количине налазе у мишићима и костима. Масти у организму животиње доминантно чине *триглицериди*, уз релативно мању заступљеност *фосфолипиди*. Састав масти зависи од врсте и категорије животиња, као и од састава оброка. Разлике у саставу масти животиња у великој мери су последица састава оброка којим се хране животиње различитог узраста, него узраста самог по себи. Триглицериди, за разлику од гликогена у јетри и мишићима, могу бити депоновани практично у неограниченим количинама у адипозном ткиву (бела маст) и служе као начин депоновања енергије. Велики део белог адипозног ткива у телу животиња може бити депонован испод коже, уз мање количине које могу бити депоноване око бубрега, између мишића (интермускуларна маст), између и унутар мишићних влакана. Раса неких животиња може представљати значајан фактор у дистрибуцији масти. Тако, на пример, товне расе говеда имају мање учешће унутрашњих депоа масти од млечних раса. Састав телесних масти у моногастричних животиња под јаким је утицајем типа и количине конзумиране масти из хране. Веома су значајне промене састава тела у животиња исте врсте. Од свих састојака организма, масти показују највећа колебања.

Варијабилност садржаја воде и масти у организму животиња. Садржај воде и масти у организму животиња налази се под утицајем великог броја различитих фактора, због чега испољавају велике варијације. Старост животиње има велики утицај на садржај воде у телу, на начин да се старењем животиња садржај воде смањује (табела 2).

Табела 2. Утицај старења на садржај воде у телу говеда и човека (Lloyd, 1978).

Говече	Вода %	Човек	Вода %
Ембрион	90	Ембрион	93
Теле новорођено	80	Дете новорођено	72
Теле старо 6 - 12 месеци	65	Дете старо 2 месеца	70
Одрасло јуне	55	Одрастао човек	65

Ембрион говеда, непосредно након зачећа може да садржи и до 95% воде, док теле у моменту рађања садржи 75-80%, а у старости од 5 месеци око 66-72%. У организму одраслог говеда налази се око 50-60% воде. У организму тек опрашених

прасади налази се свега око 2,0% масти, док у телу изразито дебелих свиња, телесне масе 140 kg, налази се чак 43,5% масти.

Вредности приказане у табели 3 показују изразито опадање садржаја воде у току пораста животиња, уз истовремени раст садржаја масти и смањење садржаја протеина и пепела у организму.

Табела 3. Просечан хемијски састав животињског организма (%) (Maunard и сар., 1979)¹.

Врста животиња	Вода	Протеини	Масти	Пепео	Суво и обезмашћено	
					Протеини	Пепео
Теле, новорођ.	74	19	3	4,1	82,2	17,8
Теле, дебело	68	18	10	4,0	81,6	18,4
Јуне, мршаво	64	19	12	5,1	79,1	20,9
Јуне, дебело	43	13	41	3,3	79,5	20,5
Овца, мршава	40	11	46	2,8	79,3	20,7
Прасе, 8 kg	73	17	6	3,4	83,3	16,7
Прасе, 30 kg	60	13	24	2,5	84,3	15,7
Свиња, 100 kg	49	12	36	2,6	82,4	17,6
Кокош	56	21	19	3,2	86,8	13,2
Коњ	61	17	17	4,5	79,2	20,8
Човек	59	18	18	4,3	80,7	19,3

¹Умањено за садржај дигестивног тракта

Да би се избегли проблеми везани за садржај телесних масти, хемијски састав тела се може изразити без садржаја масти. Изражен на овај начин организам животиња има следећи просечан састав: вода 75%, протеини 20% и минерали 5%.

Протеини. Представљају најважнији састојак суве материје органа и меких ткива животиње, као што су мишићи, јетра, срце, плућа и бубрези. Мишићи говеда, на које отпада готово пола телесне масе, садрже 75-80% протеина у сувој материји. Протеини су, такође, присутни у везивним ткивима и тетивама, кожи, длаци, перју, вуни, папцима, копитама и костима животиње. Ако се изражава у односу на телесну масу без масти, садржај протеина је релативно константан. Када животиња достигне пуну зрелост, старост и тип оброка немају значајнијег утицаја. Величина протеинске фракције представља наследну карактеристику сваке животиње. Од укупне количине телесних протеина највећи део отпада на скелетне мишиће. На основу овога, мишићима не треба приписати првенствено улогу структурног елемента, као што је то случај са костима. Неоспорно је да облик и величина мишићне масе утичу на спољашњи облик животиње. Међутим, са физиолошког аспекта споредна је чињеница да скелетни мишићи служе као “*машина за контракцију*”. Поред ове функције мишићи служе и као депо неопходних аминокиселина. Сматра се да на 1 kg протеина долази 3-4 литра воде у организму животиње.

Угљени хидрати. Најважнији угљени хидрати у ткивима животиња су: *глюкоза*, чија је основна улога у метаболизму енергије, и *гликоген*, који се синтетизује у мишићима и јетри животиње из глюкозе и служи као лако доступна форма резервне енергије. Количина гликогена и обим његовог метаболизма од нарочитог је значаја за промене које се јављају у мишићима меснатих животиња након клања. *Лактоза* је дисахарид који се синтетизује у млечној жлезди и чини преко 95% од укупне количине угљених хидрата присутних у млеку.

Минералне материје. Поред органских, у животињском организму присутне су и значајне количине минералних материја. Поједини делови организма значајно се разликују у садржају различитих неорганских елемената. Садржај ових елемената је у непосредној вези са функцијом коју обављају у одређеним деловима организма.

Садржај пепела у организму животиње представља поуздан индикатор величине њеног скелета. Најважније компоненте пепела прилично су константне, без обзира на врсту животиње. Тако, нпр. на калцијум отпада око 1,5% од укупне масе организма животиње, на фосфор око 1,0%, тако да ова два минерална елемента чине преко 70% укупне масе пепела костију. Други минерални елементи, који су у организму заступљени у мањој количини, имају већи број функција, а и значајне су компоненте неких ензима и ензимских система.

Као део молекула протеина, сумпор је распрострањен у читавом организму животиње. Натријум, калијум и хлор готово су у потпуности присутни у телесним течностима, и то у форми неорганских соли. Највећи део магнезијума налази се у костима, али га има и у осталим деловима организма. Има и других минералних елемената, неопходних за нормалну функцију организма. Тако, нпр. гвожђе је битна компонента хемоглобина крви. Јод, бакар, цинк, манган, кобалт, селен, флуор и хром су неопходни структурни или метаболички елементи организма. Различити делови тела животиња садрже и различите количине минералних материја, у зависности од њихове функције.

Разлике између појединих врста животиња. У организму веома утовљених свиња налази се више масти, него у телу говеда и оваца, када се налазе у истој телесној кондицији. Такође, због мање величине скелета, организам свиње садржи и мању количину пепела (минералних материја) од говеда и оваца. Позната је чињеница да у истом животном добу говеда имају већи садржај протеина од свиња, а пилићи већи садржај протеина у телу од осталих врста животиња.

Састав мишића. Једна од основних карактеристика животиња је њихово кретање. Покрети тела остварују се преко циклуса контракција и релаксација мишића. Покрети мишића се налазе под вољном и невољном контролом. Свака активност мишића захтева одређену количину енергије која се обезбеђује конзумираном храном. Циљ конзумирања хране је, поред осталог, директно или индиректно омогућавање активности мишића. Међутим, постоје и бројне друге активности и функције организма животиње које захтевају енергију, мада при нормалним условима енергија неопходна за активност мишића представља највећи део укупних потреба у енергији. Аденозин трифосфат (АТР) служи као непосредан извор енергије за контракцију мишића. АТР је важан и за њихов пластични ефекат, односно могућност инхибирања или мењања интеракције актина и миозина. Креатин фосфат служи као лако доступан извор енергије за одржавање нивоа АТР-а. Гликоген и триглицериди служе као резервни извор енергије.

Састав мишића, а посебно скелетних, од нарочитог је значаја за исхрану људи пошто они чине један од најважнијих извора протеина у њиховој исхрани. У зависности од врсте животиње и састава хране, 45-60% телесне масе одрасле животиње отпада на скелетне мишиће, од чега 75% чини вода. Протеини мишића нису само машина за контракције, већ и извор неопходних аминокиселина. Покретљивост животиња представља директан резултат способности мишића да трансформишу хемијску енергију хране у физички рад. Значајан део енергије хране се користи за физичку активност животиње, укључујући активности као што су

циркулација крви, дисање и перисталтика дигестивног тракта. Пошто на мишиће опада значајан део телесне масе, ова је чињеница од великог нутритивног значаја. Пораст животиња представља у великој мери акумулацију протеина. При одвијању овог процеса неопходно је обезбедити одређене аминокиселине, било директно или индиректно храном.

Састав других компоненти тела. Претходно је било речи о саставу основних ткива организма животиње. Међутим, организм животиња садржи и бројне друге супстанце, од значаја за исхрану човека. Састав мишића разматран је готово искључиво са аспекта садржаја протеина и аминокиселина. Ово је несумњиво од значаја за боље разумевање физиологије мишића и потреба животиња у аминокиселинама. Насупрот овоме, ензимски системи нису изграђени само из протеина и аминокиселина, већ често укључују један или више витамина и неорганских елемената. Табела 4 приказује делимични састав одређених делова организма животиње, који се најчешће користе за исхрану људи.

Табела 4. Садржај појединих компоненти у сувој материји ткива пилића (Mavromichalis и сар., 2000).

Компонента	Црвени мишићи	Бели мишићи	Јетра	Бубрези
Сува материја, %	28,1	25,9	31,4	23,5
Протеини, %	59,3	81,9	64,0	69,7
Маси, %	39,5	16,6	28,0	25,1
Лизин, %	4,78	6,23	4,87	5,44
Треонин, %	2,53	3,29	2,79	2,90
Цинк, µg/g	44,7	24,2	84,4	76,3
Гвожђе, µg/g	77,2	44,9	592,8	270,2
Бакар, µg/g	4,2	4,1	16,2	10,3
Манган, µg/g	1,2	0,8	12,8	8,9

Мишићи, јетра и бубрези садрже око 70% воде. Садржај протеина у њима износи око 20%, док се садржај масти креће од 3 до 11%. Треба напоменути да мишићи и бубрези садрже веома мале количине угљених хидрата. Јетра у просеку садржи око 6% угљених хидрата, који се налазе у форми гликогена. Количина угљених хидрата у јетри показује колебања, а у зависности од тога како је животиња пре тога била храњена или колико је била активна, при чему обе ове активности изазивају мобилизацију и трансформацију гликогена у глукозу крвне плазме. Мека ткива животиња садрже веома мале количине калцијума, али значајне количине фосфора. Са друге стране, јетра и бубрези представљају богат извор гвожђа. Садржај тиамина у мишићима је низак у односу на његов ниво у јетри и бубрезима. Изузетак је свињско месо, у коме је садржај тиамина 4-5 пута већи него у говеђем месу. С друге стране, садржај ниацина и рибофлавина је низак у мишићима у односу на њихов ниво у јетри и бубрезима. Витамин А је присутан у прилично великим количинама у јетри, али га практично нема у мишићима. Присуство витамина С је такође, утврђено у неким жлезданим ткивима, али у прилично малим количинама у односу на потребе човека у овом витамину.

2.2. САСТАВ БИЉАКА

Храна за животиње треба да обезбеди све потребне хранљиве материје за изградњу или обнову телесних ткива или синтезу различитих производа. Поред тога, храна треба да обезбеди и потребну енергију за одвијање одређених животних процеса. После млечног периода исхране, највећи број животиња своје потребе обезбеђује из биљака или производа њихове прераде. За већину врста животиња (хербивори и омнивори), биљке представљају основни и најважнији извор хране, из разлога што су биљке једино способне да користе енергију сунца за изградњу материја неопходних за исхрану животиња. Једино биљке поседују природну способност коришћења CO_2 , воде, нитрата и других минералних соли за синтезу угљених хидрата, масти и протеина, неопходних за изградњу животињског организма. То значи да биљке стварају, а животиње користе њихове материје.

Биљке су изграђене из истих материја као и организми животиња, али постоје значајне разлике у њиховим количинама. Поред тога, већа је разлика у хемијском саставу различитих врста биљака, него између различитих врста животиња (табела 5).

Табела 5. Хемијски састав неких хранива (% у сувој материји) (Stanton i LeValley, 2014).

Храниво	Сува материја	Протеин	Маст	Сирова vlakна	Пепео	Са	Р	К
Луцерка (свежа)	26	19	2,2	27	8	1,6	0,32	2,3
Луцерка (сенажа)	36	17	3,0	30	8	1,5	0,28	2,4
Луцерка (дехидрирана)	92	19	3,0	26	11	1,4	0,25	2,7
Кукурузна силажа	36	8	2,7	23	7	0,3	0,2	1,0
Травна силажа	26	12	4,6	34	9	0,8	0,22	2,0
Пшенична слама	88	4	1,5	42	7	0,2	0,08	1,2
Јечам, зрно	89	12	2,0	6	3	0,1	0,42	0,5
Пшеничне мекиње	89	18	4,8	11	7	0,1	1,30	1,4
Сојино зрно	91	42	19,2	6	5	0,3	0,63	1,8
Сојина сачма	89	50	1,3	6	7	0,3	0,75	2,2

Основна компонента младих биљака и животиња је вода. Старењем биљака смањује се садржај воде у њима. Најважнија разлика између биљака и животиња је што је сува материја биљака изграђена претежно од угљених хидрата, а животиња од протеина. Угљени хидрати служе као структурна и резервна материја биљака, док у телу животиња протеини представљају структурну, а масти резервну материју. Протеини су материје активних ткива, зато је лишће биљака знатно богатије у протеинима од стабла. Лиснато сено легуминоза (луцерке и црвене детелине) увек садржи веће количине протеина од сена трава. Сазревањем биљака долази до транспорта протеина из вегетативних делова у плод (семе). Ово је разлог због чега семе зрелих биљака увек садржи виши ниво протеина од осталих делова. Садржај масти већи је у лишћу него у стаблу биљака. Међутим, садржај масти највећи је у семену, где служи као кондензована форма резервне енергије, која се касније користи за клијање биљака. У већини случајева резервна енергија у семену биљака претежно је у форми угљених хидрата. У семену соје, сунцокрета, памука и лана, резервна енергија депонована је у форми уља, због чега се ове биљке и називају уљарице. Семе ових биљака се поред производње уља, користи за исхрану животиња, као и њихове сачме и погаче.

У свим биљним производима, изузев семена уљарица, угљени хидрати представљају основну структурну материју. Природа угљених хидрата зависи од тога да ли служе као резервне или структурне материје. У зрну биљака угљени хидрати претежно су у форми скроба, који представља резервну материју. Насупрот овоме, у стаблу биљака, а у мањој мери и лишћу, значајан део угљених хидрата је у форми целулозе. Пошто су целулоза и слична једињења, позната под именом сирова влакна или сирова целулоза, много мање сварљива од скроба, то се и различити делови биљака значајно међусобно разликују у хранљивој вредности. Тако, нпр. хранива са високим садржајем целулозе (сено, слама, кукурузовина и силажа) називају се *кабаста* или *волуминозна* хранива. Назив *концентрована* односи се на сва хранива која садрже мале количине силових влакана, због чега су и високо сварљива. Овде спада семе различитих врста житарица и већина њихових споредних производа.

У погледу садржаја минералних материја, различите врсте биљака и њихови делови, значајно се разликују. Са аспекта исхране животиња дистрибуција минералних елемената у биљкама, значајно се разликује од животиња. Калцијум и фосфор у организму животиња чине преко 70% укупног пепела. Са изузетком легуминоза које су богате калцијумом, калцијум и фосфор чине прилично мали део пепела у осталим биљкама. Калцијум је претежно везан за вегетативне делове биљака, због чега је лист знатно богатији од стабла. По правилу, семе биљака је сиромашније у калцијуму од осталих делова биљака. Насупрот калцијуму, фосфора има више у семену него у осталим деловима биљака, мада је лишће богатије од стабла. На садржај калцијума и фосфора у вегетативним деловима биљака има великог утицаја тип и хемијски састав земљишта.

2.3. САСТАВ ХРАНЕ ЖИВОТИЊА

По свом хемијском саставу, храна за исхрану животиња креће се у широком распону од једноставних једињења, као што су NaCl и глукоза, до веома сложених смеша једињења, као што су то производи биљака и животиња. Део конзумираних материја, међутим, може бити нерастворљив или несварљив, а неке од ових материја, под одређеним условима, могу бити чак и токсичне.

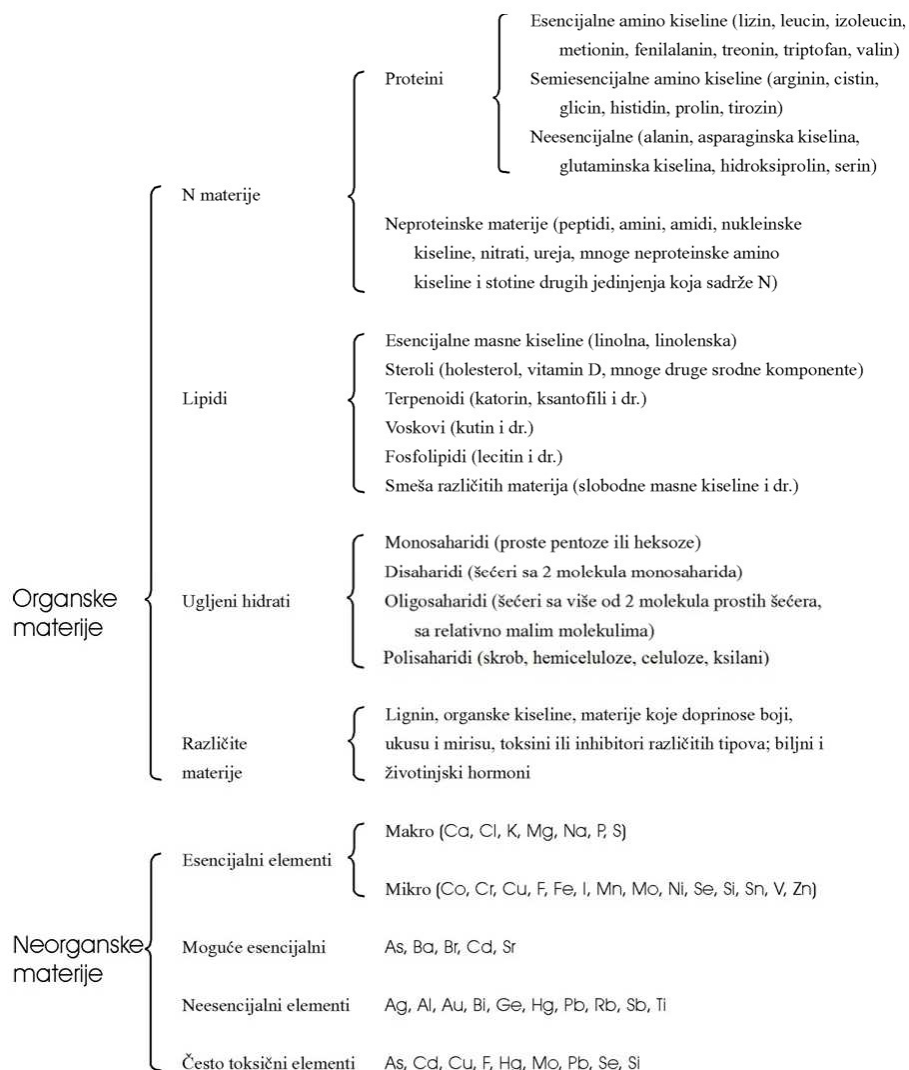
У табели 6 дат је приказ хранљивих материја које могу бити присутне у храни животиња. Вода представља количински најзаступљенију компоненту хране за животиње. Другу компоненту чини сува материја хране, која је састављена од органских једињења (органска материја) и неорганских елемената (неорганска материја).

Вода. Присутна у свим хранивима за исхрану животиња, али може варирати у широком интервалу: од 6% у концентрованим, до преко 90% у коренасто-кртоластим хранивима. Због овако великих разлика у садржају воде, састав хранива се изражава на садржај *суве материје*, који омогућава поузданије поређење садржаја хранљивих материја. Садржај воде у биљкама у порасту зависи од фазе вегетације. Млађе биљке редовно имају већи садржај воде од старијих.

Протеини. Једна од најважнијих хемијских особина свих живих бића је садржај протеина. Ово је због тога што протеини у организму биљака и животиња, између осталог, обављају функцију ензима, који су одговорни за бројне метаболичке процесе. У организму животиња имају улогу структурних протеина коже (колаген и кератин), везивних ткива, тетива и костију (колаген) и мишића (актин и миозин),

као хормони (инсулин), антитела и супстанце које обављају транспорт и имају осмотске функције у крви (хемоглобин, албумин).

Табела 6. Шематски приказ састава хране животиња (Pond и сар., 1995).



Основне структурне јединице молекула протеина су *аминокиселине*. Све аминокиселине садрже биогене елементе: кисеоник, водоник, угљеник и азот. Протеини обично садрже неколико стотина остатака аминокиселина, што има за последицу њихову велику молекулску масу. Протеини се синтетизују у ћелијама биљака и животиња у којима једно ћелија садржи генетске материје које детерминишу природу новоформираних протеина. Способност протеина хране, да обезбеде животиње есенцијалним аминокиселинама, параметар је који има нарочит утицај на њихову вредност у исхрани животиња. Одрасли преживари имају мање захтеве у аминокиселинама из хране од непреживара. Разлог овоме је присуство микробиолошке активности у органима за варење преживара и њихова способност синтезе есенцијалних и неесенцијалних аминокиселина из простих органских

материја хране. Међутим, количина овако насталих аминокиселина није довољна за обезбеђење потреба животиња са високом производњом.

Садржај азота у већини протеина варира од 15 до 17%, са просечном вредношћу од 16%. Мерење садржаја протеина у храни животиња заснива се на одређивању садржаја азота. Традиционално се садржај протеина у хранивима изражава у форми *сирових протеина* (CP), где је $CP = N \times (100/16)$.

Угљени хидрати чине количински највећу фракцију у већини биљних ткива. Поред тога, могу бити веома комплексни, како по свом броју тако и саставу. Угљени хидрати су главни производ фотосинтетске активности у биљкама, који чине до 80% суве материје многих биљака. Хранљива вредност угљених хидрата у исхрани животиња је различита и зависи од хемијске грађе и способности животиња за варење. Разлике у типовима угљених хидрата у биљкама далеко су веће него код животиња (табела 7). Са аспекта исхране животиња постоји значајна разлика између угљених хидрата из биљних ћелија, без обзира на то да ли се ради о простим или сложеним шећерима (скроб, сахароза и фруктани) и угљених хидрата у зидовима ћелија (пектини, целулоза, хемицелулоза) (табела 8). Ова разлика се заснива на њиховој сварљивости. Тако, нпр. угљени хидрати присутни у биљним ћелијама лако се хидролизују (варе), док су угљени хидрати уграђени у зидове ћелија релативно отпорни. Њихова деградација је у великој мери функција микробиолошке активности у дигестивном тракту преживара.

Табела 7. Упоредни хемијски састав животиња и хранива (%) (Јовановић и сар., 2001).

	Вода	Угљени хидрати	Протеини	Маси	Пепео
Свиња, 30 kg	60	< 1	13	24	2,5
Одрасла крва	58	< 1	16	20	4
Кокош	56	< 1	21	19	3
Трава - лисната	80	12	5	1	2
Пшенична слама	10	75	3	2	9
Зрно пшенице	13	72	12	2	2
Репа угарњача	90	7	< 1	1	1
Сојина сачма	12	35	45	2	6

Неструктурни угљени хидрати (NSC) присутни у биљкама могу се класификовати на основу њихове растворљивости у води. У *води растворљиви угљени хидрати* обухватају моносахариде, олигосахариде и неке полисахариде, углавном фруктане. Зрна житарица су главни извор скроба за животиње. Постоје две компоненте скроба: *амилоза* и *амилопектин*. Оба састојка имају кристалну структуру која се нарушава деловањем топлоте. Температура при којој се ово одвија назива се температура желатинизације. Промене у структури скроба до којих долази при запаравању, су веома значајне за процесе попут производње флекаца, микронизације и пелетирање хранива. Коришћење претерано високих температура може изазвати карамелизацију угљених хидрата која има неповољан утицај на њихово искоришћавање.

Угљени хидрати растворљиви у води од нарочитог су значаја за процес сибирања кабастих хранива, а утичу и на укус добијене силаже. На садржај у води растворљивих угљених хидрата претежан утицај имају физиолошки услови пораста

биљака. Висок интензитет осветљавања и обим фотосинтезе, повећавају садржај у води растворљивих угљених хидрата.

Табела 8. Садржај угљених хидрата у биљним ткивима (% у СМ) (Van Soest, 1982).

Компонента	Тропске траве	Траве са умереног подручја	Зрно житарица	Зелена луцерка	Зелене биљке
Шећери	5	10	незнатно	5-15	20
Фруктани	0	1-25	0	0	-
Скроб	1-5	0	80	1-7	низак
Пектин	1-2	1-2	незнатно	5-10	10-20
Целулоза	30-40	20-40	2-5	20-35	20
Хемицелулоза	30-40	15-25	7-15	8-10	низак

Од *структурних угљених хидрата* (SCH) у кабастим хранивима најзаступљенија је целулоза, са мањим количинама хемицелулозе, претежно ксилана. Ове материје представљају полимере глукозе, док су ксилани полимери ксилозе. Учешће ових материја расте са старењем биљака. Њихова доступност за животиње се креће од потпуне несварљивости до потпуне сварљивости, а зависи од врсте животиња које се хране и степена лигнификације. Разлике између животиња у способности за коришћење ових угљених хидрата, представљају у великој мери функцију микробиолошке активности у њиховом алиментарном тракту - преживари, а у мањој мери и други хербивори (коњи, кунџи), који имају већу способност варења ових материја од моногастричних животиња.

Лигнин је комплексна материја, високе молекулске масе која је повезана са структурним угљеним хидратима у зиду ћелије, ради формирања аморфног матрикса. Нарочито је отпоран на деградацију и представља главни фактор који лимитира сварљивост кабастих хранива. По правилу, садржај лигнина у ћелијским зидовима расте са старењем биљака и одговоран је за смањење сварљивости кабастих хранива. Сламе житарица су пример високо лигнифицираних хранива. Хемијским третирањем сламе житарица са алкалијама, као што су натријум- и амонијум-хидроксид, разграђују се главне естарске везе између лигнина и структурних угљених хидрата у зидовима ћелија и тако повећава подложност зидова ћелија на деградацију у дигестивном тракту преживара. Ефикасност третирања зависи од удела разграђених веза између лигнина и угљених хидрата.

Маси или липиди представљају веома разнородну групу органских материја, слабо или потпуно нерастворљиву у води, али лако растворљиву у различитим органским растварачима. Већина хранива за животиње садржи до 5% маси у сувој материји, док у организму животиња, маси може бити и више од 40%. У биљкама је присутан велики број различитих типова маси. Ова једињења имају исту хемијску структуру и особине, с том разликом што се уља јављају у течној форми у биљкама, а маси, претежно, у чврстој форми у ткивима животиња. Масне киселине попут *линолне* и *линолеинске* су познате као есенцијалне масне киселине, пошто их организам животиња не може синтетизовати, већ се морају обезбедити храном из биљних извора. У ову групу се често сврстава и арахидонска киселина, за коју је доказано да ипак може бити синтетизована из линолне киселине хране. Есенцијалне масне киселине имају бројне функције, између осталог служе као прекурсори простагландина.

Триглицериди су најважније липидне компоненте концентрованих хранива и семена. Липиди у кабастим хранивима се налазе, углавном, у форми гликолипида, који поред масних киселина, претежно линолне и линолеинске, имају угљенохидратну компоненту у форми галактозе. Садржај енергије у триглицеридима знатно је виши него у другим хранљивим материјама хране, тако 1 g угљених хидрата садржи око 16 kJ, а 1 g триглицерида садржи око 40 kJ. Због тога се масти могу укључити у оброке животиња као допунски извор за повећање енергије.

Витамини представљају тежински малу фракцију у готово свим хранивима за исхрану животиња. За праксу је од значаја да сви извори хране показују велика колебања у садржају витамина. Делимично објашњење може се наћи у чињеници да је већина витамина подложна деградацији при њиховом излагању топлоти, светлости и другим факторима спољашње средине.

Неоргански елементи, утврђени у храни животиња укључују *макро и микро елементе*, који представљају есенцијалне минералне елементе, потребне животињама у релативно малим количинама. За неколико минералних елемената, присутних у биљкама, сматра се да немају никакву улогу у организму животиња, мада је за неке доказано да су потребни неким врстама животиња за специфичне функције. Минерални елементи, за које се зна да су есенцијални, могу бити присутни у неким биљним ткивима у количинама које могу чак да изазову токсичност у животиња.

Хемијски састав најзначајнијих хранива која улазе у састав оброка за животиње је приказан у табели 9.

Табела 9. Хемијски састав најзначајнијих хранива (% у сувој материји, осим суве материје) (NRC, 2001).

	Сува материја	Протеин	Маст	<i>NDF</i>	<i>ADF</i>	<i>Ca</i>	<i>P</i>
Пшенична слама	93	5	1,6	73	49	0,3	0,1
Травно сено	88	11	2,6	64	40	0,6	0,2
Травна сенажа	37	13	3,1	61	40	0,6	0,3
Легуминозно сено	84	18	1,6	51	40	1,2	0,3
Легуминозна сенажа	39	20	3,1	46	37	1,3	0,3
Кукурузна силажа	35	9	3,2	45	28	0,3	0,3
Репин резанац, суви	88	10	1,1	46	23	0,9	0,1
Пивски троп, свеж	22	28	5,2	47	23	0,4	0,6
Кукуруз, зрно	88	9	4,2	10	3	0,0	0,3
Кукуруз, клип	89	9	3,9	22	8	0,1	0,3
Сирак, зрно	89	12	3,1	11	6	0,1	0,4
Пшеница, зрно	89	14	2,3	13	4	0,1	0,4
Јечам, зрно	91	12	2,2	21	7	0,1	0,4
Овас, зрно	90	13	5,1	30	15	0,1	0,4
Пшен. сточно брашно	90	19	4,5	37	12	0,2	1,0
Пшеничне мекиње	89	17	4,3	43	16	0,1	1,2
Сунц. сачма (INRA, 2002)	90	37	1,9	40	24	0,5	1,2
Репицина погача	90	38	5,4	30	21	0,8	1,1
Сојина сачма	89	50	1,6	15	10	0,4	0,7
Сојин гриз	91	43	19,0	22	15	0,3	0,6
Меласа	78	9	0,2	0	0	0,2	0,0

3. ХРАНЉИВЕ МАТЕРИЈЕ И ЊИХОВ МЕТАБОЛИЗАМ

Различита хранива за исхрану животиња, до ћелија и телесних ткива не доспевају у таквој форми у каквој се уносе у организам животиње. Тек после низа различитих хемијских реакција којима хранива подлежу у органима за варење животиње, више од 40 хранљивих материја, укључујући аминокиселине, минералне елементе и витамине, доспевају у ћелије и телесна ткива организма и служе за обезбеђење његових потреба. Дакле, хранљиве материје су хемијске супстанце хране, које организам животиње користи за одржавање живота, производњу и нормално здравље.

После конзумирања и варења хране, долази до апсорпције ослобођених хранљивих материја у крв, којом се оне транспортују до различитих ћелија организма. Након тога, неопходне су даље хемијске промене хранљивих материја како би оне биле укључене у метаболизам. Трансформација иде све до њиховог претварања у енергију или структурне материје. Стога хранљиве материје (вода, угљени хидрати, масти, протеини, витамини и минерали) подлежу различитим хемијским реакцијама. Све се ове реакције одвијају на нивоу ћелије и међућелијских простора. Збир свих ових хемијских реакција назива се *метаболизам*. Метаболизам има две фазе: *катаболизам* и *анаболизам*. *Катаболизам* представља оксидативну разградњу хранљивих материја уз ослобађање енергије (егзотермна реакција), која се, затим, користи за обезбеђење одређених телесних потреба. *Анаболизам* је процес којим се молекули хранљивих материја користе као градивне јединице за синтезу сложених молекула. Анаболичке реакције су ендотермне, односно захтевају укључивање енергије у систем.

Савремена исхрана животиња почива на познавању хранљивих материја, неопходних животињама и начину њиховог коришћења.

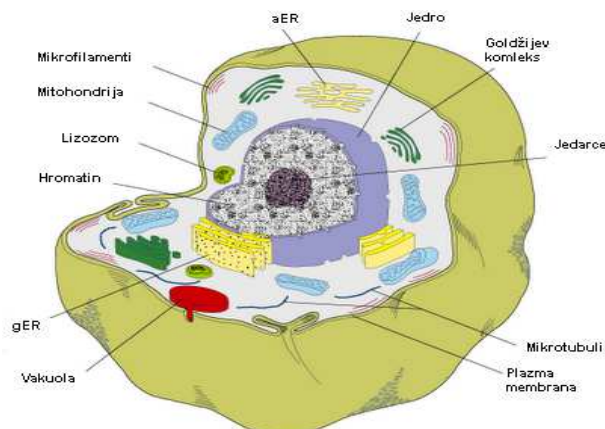
Ћелија - функционална јединица исхране и метаболизма

Исхрана животиња се реализује на нивоу ћелија телесних ткива, стога ћелија представља основну јединицу исхране и метаболизма. У различитим ћелијама организма одвија се метаболизам угљених хидрата, масти и протеина. У њима се синтетизују различита једињења за каснију употребу (анаболизам), а долази и до разградње различитих једињења у једноставне јединице (катаболизам) за касније коришћење или екскрецију. Ослобађање енергије из одређених супстанци и њено усвајање од стране других се одвија у ћелијама организма, обезбеђујући тако потребну енергију свуда и увек када је она потребна.

Свака од великог броја телесних ћелија специјализована је за обављање одређене функције. Груписане заједно ћелије обављају исту општу функцију, формирајући тако одређено ткиво. Тако постоје мишићна, нервна, епителна и везивна ткива. Структурне јединице, изграђене из два или више ткива, које обављају специфичну функцију или различите функције, називају се органи. Као пример за то су срце, бубрези, плућа и др. Као што тело животиње има органе, тако и ћелије садрже *органеле* (мале органе), које су такође укључене у исхрану и метаболизам. Два најважнија дела ћелије су *нуклеус* (једно) и *цитоплазма*. Нуклеус служи као центар ћелије и врши контролу њених функција, док цитоплазма обавља метаболичке активности ћелије.

У нуклеусу ћелије присутан је модел сваког од различитих протеина, кога представља *деоксирибонуклеинска киселина* (DNA). Генетска информација депонована у DNA ставља се у функцију помоћу транскрибовања ове у

рибонуклеинску киселину (RNA), којом се усмерава синтеза протеина у рибозомима. Овај процес транскрипције у основи представља кључ за исхрану животиња.



Слика 2. Грађа ћелије животиња

(<https://blogs.scientificamerican.com/a-blog-around-the-clock/bio101-cell-structure/>).

Мембране деле ћелије у мање сегменте и тако регулишу пролаз супстанци из ћелије у ћелију или између њих. Мембране укључују ендоплазматски ретикулум, митохондрије, голџи комплекс, лизозоме, нуклеус и саму ћелију.

3.1. ВОДА

Вода у организму животиња има виталну улогу и без довољне количине воде не може се одржавати живот. У организму одраслих животиња на воду отпада око 1/2 до 2/3 телесне масе, па чак и до 90% у телу новорођених младунаца. Вода је присутна у свим ћелијама биљака и животиња, где представља интегрални део структуре свих меких ткива. Захваљујући овоме, животиње веома лако апсорбују и ослобађају воду.

Садржај воде у хранивима показује велика колебања и креће се од 90% у неким коренасто-кртоластим хранивима, до 7-15% у зрнима житарица и сену. Постојање овако великих разлика у садржају воде, намеће потребу постојања заједничког критеријума за упоређење њихове хранљиве вредности. За упоређивање различитих хранива и изражавање њихове хранљиве вредности користи се садржај суве материје. Садржај воде у организму животиња, такође, показује велика колебања. Тако, нпр. мишићно ткиво животиња садржи 75%, док телесне масти имају свега 10-15% воде.

ФУНКЦИЈЕ ВОДЕ У ОРГАНИЗМУ ЖИВОТИЊЕ

Вода има две основне функције у организму животиња: служи као најважнија компонента метаболизма и најважнији фактор за контролу телесне температуре.

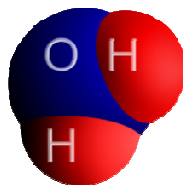
Улога воде у метаболизму

Све биохемијске реакције, које се одвијају у организму животиње, захтевају присуство воде. Многе од биолошких функција воде везане су за улогу растварача великог броја једињења. Тако, нпр. многа једињења се лако јонизују у води. Особине растварача су од изузетног значаја, пошто највећи део цитоплазме

представља смешу колоида и кристалоида у води. Поред тога, вода служи и као медијум за транспорт получврстог дигеста кроз гастроинтестинални тракт, транспорт различитих растворених материја крвљу, за телесне течности, ћелије и различите секрете, а учествује и у екскрецији урина и зноја. Вода обезбеђује разблаживање садржаја ћелија и телесних течности, чиме је омогућено релативно слободно кретање хемијских материја унутар ћелије, у телесним течностима и гастроинтестиналном тракту.

Вода учествује у *варењу* (хидролиза протеина, масти и угљених хидрата), апсорпцији сварених хранљивих материја, транспорту метаболита и екскрецији отпадних продуката метаболизма. Многи катаболички и анаболички процеси одвијају се у телесним ткивима, укључујући увођење или ослобађање воде.

Једна од најважнијих улога воде у исхрани животиња је улога растварача различитих састојака хране. Ова особина воде последица је високе *дielekтричне константе*, чиме вода помаже јонизацију електролита и омогућава промене јона. Као растварач, вода има виталне функције у транспорту хранљивих материја и различитих метаболита кроз организам животиње и екскрецију отпадних производа метаболизма.



Слика 3. Структура молекула воде

(https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Water_molecule).

Различите биохемијске реакције у организму животиње, не одвијају се само у раствору, већ вода учествује у самим реакцијама. Неке од најважнијих реакција у варењу и интермедијарном метаболизму укључују увођење или ослобађање воде. Поред тога, вода катализује и бројне хемијске реакције. Ни једна хемијска реакција у организму животиња не може тећи без присуства воде.

Вода у значајној мери одређује обим биолошких функција макромолекула у организму животиње. На пример, већина ових молекула су хидрофилни у различитој мери. Различити хидрофилни молекули међусобним спајањем стварају структуру ћелијских мембрана. Ове мембране представљају високо организоване липопротеинске структуре, које контролишу животне процесе у ћелијама, преко регулисања дотока и отицања материја. Због тога, највећи број ћелија је пропустљив за воду, тако да вода непрестано улази и излази из ћелија, дифундујући лако кроз телесна ткива, захваљујући његовом коефицијенту концентрације. Промене у осмотском притиску изазивају директно кретање воде од раствора мање, према раствору веће концентрације. На тај начин, концентрација електролита и селективна пропустљивост мембрана за различите јоне, омогућавају регулисање садржаја воде у одређеним физиолошким границама.

Вода је, такође, важна за прилагођавање телесне топлоте температуре спољашње средине. Узимање великих количина хладне воде може до те мере охладити организам да је потребна повећана оксидација за одржавање нормалне телесне температуре. Ради избегавања прекомерног хлађења организма животиње у току зимског периода, потребно је спречити прекомерно узимање воде. Насупрот овоме, у време високих спољашњих температура, у току летњег периода, узимање великих

количина воде, у циљу хлађења организма животиње, може пореметити осмотске односе у организму и довести до тзв. интоксикације водом. Интоксикација водом настаје као последица прекомерног губитка соли из организма знојем. Овај губитак се може избећи накнадним узимањем соли у форми засољене воде или таблета соли.

Кретање хранљивих материја до ћелија телесних ткива и уклањање коначних производа метаболизма из ћелија, одвија се захваљујући својствима воде као растварача. Већина споредних производа метаболизма, који морају бити отклоњени из организма, филтрирају се из крви посредством *Bowman*-ових капсула у бубрезима. Затим се реапсорпцијом воде повећава концентрација филтрата. Међутим, постоје ограничења до које мере организам може поднети концентрацију филтрата из бубрега. Због тога, количина коначних производа (најчешће уреја и соли), која мора бити елиминисана урином, одређује минималну количину воде потребне за ове сврхе. Количина воде која је потребна за екскрецију хлорида и карбоната, практично је иста, док су потребе за отклањање уреје нешто мање него за соли.

Утврђено је да количине минерала унетих храном или на неки други начин, имају директан утицај на количину воде, коју животиња мора попити. Поред тога, и количина протеина у оброку животиња је важна. Оброци са високим садржајем протеина повећавају количину уреје, која мора бити елиминисана из организма.

Промет воде у организму животиње делимично зависи од количине и састава унете хране, као и активности животиње. Конзумирање изразито суве хране повећава секрецију плувачке и интестиналних течности, како би се одржала потребна конзистенција ингеста у току његовог пролаза кроз органе за варење. Међутим, ако је присутна недовољна количина течности, редовно долази до констипације односно затвора. При одређеним условима, секреција течности из мокраћне бешике може бити и до четири пута већа од нормалне количине. До овога може доћи услед конзумирања великих количина масти, које захтевају присуство жучи за њихово емулговање.

Улога воде у регулисању телесне температуре

Захваљујући одређеним физичким својствима, вода је веома важна у регулисању телесне топлоте. *Висока специфична топлота, висока топлотна проводљивост и висока латентна топлота испаравања* омогућавају акумулацију топлоте, лак трансфер топлоте и губитак великих количина топлоте испаравањем из организма. Ова физичка својства воде повећана су физиолошким карактеристикама животиња. Флуидност крви и брзина којом се она креће у организму, велика површина испаравања у плућима и површина тела за испаравање или дахтање, способност ограничавања протока крви са површине коже у време ниских спољашњих температура, омогућавају животињама да у великој мери контролишу и одржавају телесну температуру у оквиру жељеног опсега.

Висока специфична топлота и латентна топлота испаравања воде помажу у регулисању телесне температуре. Висока специфична топлота и топлота испаравања воде су високе због везивања водоника. Вода одређене тежине захтева више топлоте за пораст њене температуре и претварање из течног у гасовито стање, од било које друге супстанце. Ове природне особине чине воду идеалним агенсом за регулисање телесне температуре.

Због високе специфичне топлоте воде, велике промене у производњи топлоте могу се одвијати у организму животиње, уз веома мале промене у температури

тела. Ова физичка особина чини воду неопходном за ширење топлоте произведене у неким хемијским реакцијама. Тако, на пример, у току само неколико минута ходања, животиња оксидацијом органских материја у организму ствара толике количине топлоте које су довољне да изврше потпуну коагулацију протеина у свим ћелијама телесних мишића који се налазе у функцији. Међутим, до овога никада не долази због веома брзог ширења топлоте, коју врши телесна вода.

Специфична топлота воде је знатно виша него било које друге течности (или чврсте материје). Многе животиње се ослањају на капацитет хлађења воде, пошто она уступа своју латентну топлоту у току процеса испаравања при дахтању или знојењу. Изражено у облику промета топлоте, може се закључити да је веома ефикасно коришћење воде пошто је за загревање 1 g воде од мржњења до кључања потребно 117 cal. Захваљујући великом капацитету воде за депоновање топлоте, нису могуће нагле промене у телесној температури. Вода има већу топлотну пропустљивост од било које течности, што је веома важно за ослобађање топлоте из дубоко смештених ткива и органа у телу животиње.

Апсорпција воде. Вода се лако апсорбује из највећег дела гастроинтестиналног тракта, али се и лучи из организма у њега. Тамо где је апсорпција већа од лучења, кажемо да се ради о нето апсорпцији, а тамо где је излучена количина већа од апсорбоване, кажемо да се ради о нето уливању. У свих преживара обично је присутна нето апсорпција из румена и омазума. У абомазуму преживара или жлезданом желуцу других врста животиња, обично постоји значајно нето лучење течности (које прати секрете желуца). Исти је случај и са дуоденумом, где течности из панкреаса, жучи и цревних жлезда, изазивају нето уливање воде.

У свих врста животиња присутна је нето апсорпција из илеума, јејунума, цекума и дебелог црева, али апсорбована количина (и влага у фецесу) значајно варира од једне до друге врсте животиња, као и од оброка до оброка унутар различитих врста животиња.

Осмотски односи унутар одређеног органа, имају значајан утицај на апсорпцију. Након узимања хране обично је у дигесту присутно више растворених хранљивих материја. Ово ће повећати осмотски притисак, који може довести до уливања воде у органе (румен, танка црева), а у зависности од количине конзумиране течности пре, у току и после узимања хране. Овај механизам омогућава организму животиње одржавање оптималне конзистенције дигеста кроз гастроинтестинални тракт. Ако се течности уносе без хране, апсорпција је знатно бржа и потпунија, због описаних осмотских односа.

Следећи фактор, који утиче на апсорпцију воде у танким и дебелим цревима, јесте природа угљених хидрата конзумиране хране. Тако, нпр. полисахариди као што је пектин, испољавају тенденцију формирања гела у гастроинтестиналном тракту. Овако формирани гел задржава воду и смањује апсорпцију из гастроинтестиналног тракта, због чега се обично испољавају лаксативна својства, а оваква хранива се називају *лаксативна*. У неких врста животиња конзумирање несварљивих влакана, такође, тежи смањењу апсорпције воде. Поред тога, сви други фактори који подстичу дијареју, било да је изазвана храном, микроорганизмима, промењеним осмотским односом или другом физиолошком реакцијом (нпр. стресним факторима који могу стимулисати покретљивост црева), имају за последицу смањење апсорпције воде из гастроинтестиналног тракта. За разлику од угљених хидрата, друге материје хране имају мањи капацитет задржавања воде.

Извори воде

Вода доступна телесним ткивима животиње добија се од (1) воде за пиће, (2) воде у храни, (3) метаболичке воде, (4) воде ослобођене из метаболичких реакција (као што је кондензација аминокиселина у пептиде) и (5) од раније створене воде, везане за катаболизам у телесним ткивима, у току периода негативног биланса енергије. Значај ових извора, различит је у појединих врста животиња, а у зависности од хране, станишта и способности за конзервисање телесне воде.

Садржај воде у конзумираним хранивима показује велика колебања. Тако, на пример, садржај воде у кабастим хранивима може варирати од 5 до 7% у зрелих биљака и сену, до 90% и више у бујним младим биљкама. Такође, атмосферске падавине и роса на конзумираној храни повремено могу, представљати значајну количину конзумиране воде. Количина обезбеђене воде са зеленом кабастом храном може бити веома значајна. Вредности приказане у табели 10 показују међусобну повезаност садржаја влаге у кабастој храни и количине попијене воде. Досадашња запажања показала су да овце ретко пију воду када је садржај влаге у кабастој храни 65 до 70% или виши.

Табела 10. Међусобни однос садржаја влаге у кабастој храни и количине попијене воде у оваца (Јовановић и сар., 2001).

Конзумирање воде l/kg суве материје	Садржај воде у кабастој храни, %
3,6	10
3,6	20
3,3	30
3,1	40
2,9	50
2,3	60
2,0	65
1,5	70
0,9	75

Метаболичка вода или вода оксидације настаје при оксидацији органских компонената хране у ћелијама организма. Оксидација 1 молекула глукозе захтева присуство 6 молекула O_2 , при чему се производи 6 молекула CO_2 и 6 молекула воде. Количина кисеоника потребног за оксидацију скроба, масти и протеина је приказана у табели 11. Из ове табеле се може видети да је потребно много више O_2 за оксидацију масти: 2,02 l/g масти, насупрот 0,83 l/g скроба или 0,97 l/g протеина. Ако се изрази у форми O_2/g формиране воде, у том случају протеини захтевају 2,44 литара O_2 . Количина произведене метаболичке воде по граму хране много је већа за масти (1,07) него за протеине или угљене хидрате.

Узимање и метаболизам масти, угљених хидрата и протеина доводи до појачаног дисања и ослобађања топлоте, а за протеине и повећаног лучења уреје урином, основног екскреторног производа метаболизма азота у сисара. Велике количине воде потребне су за растварање и екскрецију уреје преко бубрега, јер количина воде добијена оксидацијом, није довољна да обезбеди повећане респираторне и екскреторне захтеве. Утврђено је да у топлој и сувој околини (температура амбијента $26^{\circ}C$, релативна влажност 10%) животиња изгуби 23,5 g респираторне воде у процесу производње 12,3 g метаболичке воде. Количина настале топлоте износи око 100 cal. Део топлоте (13,6%) ослобађа се са топлотом испаравања

издахнутог ваздуха. Ако се преостали део (86 cal) ослобађа знојењем, то одговара количини од 149 ml воде. Због повећаних потреба за екскрецију, конзумирање протеина има негативан утицај на конзервацију воде и треба избегавати у периодима краткотрајног дефицита или потпуног одсуства воде. У климатским условима са сувим ваздухом, конзумирање масти има за последицу формирање мање количине нето метаболичке воде, него што је то случај при конзумирању угљених хидрата. Коначан резултат је да угљени хидрати дају веће количине нето метаболичке воде од протеина или масти.

Табела 11. Производња метаболичке воде из различитих хранљивих материја (Pond и сар., 1995).

Хранљива материја	Литара O ₂ /g хране		Произведена метаболичка вода/g хране (g)
	Храна	Формирана вода	
Скроб	0,83	1,49	0,56
Масти	2,02	1,88	1,07
Протеини	0,97	2,44	0,40

Губици воде

Вода се излучује из организма животиње преко *урина, фецеса, не приметне* (неосетљиве) *воде* (која се губи испаравањем из плућа и губитком кроз кожу) и *зноја*, за време високих спољашних температура. Губитак воде из плућа, преко коже и бубрега, одвија се непрекидно, мада различитим интензитетом. Губитак воде урином и фецесом одвија се, такође, перманентно, мада се она излучује само у току дефекације и уринирања.

Вода излучена урином има улогу растварача за производе излучене из бубрега. Неке врсте животиња имају већу способност концентрације урина од других. У извесним случајевима концентрација урина је везана за тип излученог једињења. На пример, живина излучује, углавном, мокраћну киселину пре него уреје, као коначан производ метаболизма протеина. Ове врсте животиња излучују урин у полуврстој форми, са веома мало воде. Међутим, сисари не могу ни изблиза тако концентровати урин. Предност живине је што производња мокраћне киселине доводи до веће производње метаболичке воде, него што је то случај у производњи уреје. Бубрези већине животиња имају велику прилагодљивост на количину воде која може бити излучена. Минималне количине воде, потребне за екскрецију (познате као обавезна вода) обично се знатно превазилазе, сем у случајевима када је конзумирање воде ограничено. Узимање сувишних количина воде у току периода топлотног стреса или при конзумирању диуретика (нпр. кофеина или алкохола у људи), може знатно повећати екскрецију воде преко бубрега. У говеда, губитак воде фецесом обично прелази губитке урином, што није случај у време топлотног стреса. Друге врсте животиња налазе се између ових вредности. Животиње које конзумирају фиброзне оброке обично излучују већи проценат укупне воде фецесом, а животиње које формирају фецес у облику пелета (овце, козе, јелени) обично излучују сувљи фецес и зато су боље адаптиране на сувље климатске услове и веће ограничење у води од животиња које не формирају пелете од фецеса.

Губитак *не приметне* (неосетљиве) воде чини релативно велику количину од укупно изгубљене воде, а нарочито на температурама које не изазивају знојење или

у врста животиња које се не зноје. На пример, губици неосетне воде износе 45 до 55% од укупних губитака воде у оваца држаних у метаболичким коморама, у односу на 30-35% у људи у сличним условима. Ваздух при уласку у плућа може бити веома сув, али при избацивању у спољашњу атмосферу садржи и до 90% воде. У периодима супервентилације, што је случај при веома високим температурама, губитак воде преко плућа је знатно повећан и може достићи 50% или више од укупног лучења при знојењу крвава које су под топлотним стресом. Губитак неприметне воде преко коже релативно је мали.

Губитак воде знојем може бити веома велики, као што је то случај са коњима, у којих су знојне жлезде распоређене на великом делу телесне површине. Знојење је начин за ослобађање телесне топлоте и има ефикасност од око 400% у поређењу са губитком топлоте респирацијом. Врсте животиња, толерантне на топлоту, обично имају добро развијене знојне жлезде. Ово објашњава чињеницу зашто су говеда расе *Bos indicus* знатно толерантнија на топлоту од раса говеда које припадају типу *Bos taurus*. Врсте животиња које имају слабо развијене знојне жлезде (пас, живина) морају бити у хладовини, које дахтањем (убрзаним дисањем), налажењем хлада или воде (свиње) хладе своје тело.

Регулисање конзумирања и потребе у води

Регулисање конзумирања воде је веома сложен физиолошки процес. Ово је, пре свега, последица дехидратације телесних ткива. Међутим, до конзумирања воде, такође, долази и када не постоји изразита потреба за рехидратацијом телесних ткива. Када је животиња жедна, лучење пљувачке је обично смањено, а осушена уста и грло могу стимулирати узимање воде. Према другим информацијама лучење пљувачке не представља критичан фактор у почетку узимања воде. Орални осећај или узбуђење је очигледно укључено, на које могу утицати осмотски рецептори у устима. Нпр. пас са езофагеалном (једњачком) фистулом (која превенира да орално узета вода доспе у желудац) престаће са узимањем воде после тобожњег конзумирања нормалне количине воде. Међутим, тобожње конзумирање воде ће бити поновљено у току само неколико минута. Постоје бројни докази да је пролаз воде кроз уста неопходан за стварање осећаја ситости, пошто довођење воде у желудац помоћу цеви, оставља животињу немирну и незадовољну.

Већина животиња пије воду у току или непосредно након узимања хране, уколико имају у близини довољне количине питке воде. Учесталост узимања воде се повећава при порасту спољашње температуре, а тиме и укупна количина унете воде.

Потребе било које категорије или врсте здравих животиња у води веома је тешко описати, изузев у веома специфичним ситуацијама. Ово због тога што на апсорпцију и екскрецију воде утичу бројни фактори хране и спољашне околине, као и због тога што је вода веома важна за регулисање телесне температуре. Други фактори, као што је способност за конверзију воде или разлике у активности и физиолошком стању, тј. пораст, гравидитет и лактација, представљају сложен проблем када се упоређују различите категорије или врсте животиња.

Фактори хране. Конзумирање хране је у веома јакој корелацији са конзумирањем воде при умереним температурама спољашње средине. И садржај воде у конзумираној храни утиче на укупно конзумирање воде. Ово доводи до конзумирања више воде од потреба, када су кабаста хранива веома бујна и са високим садржајем воде. Високи нивои протеина у оброку, такође, повећавају

конзумирање воде, због тога долази до веће екскреције азота урином у виду уреје. Када се уреја користи у исхрани као најважнији извор азота у оброцима преживара, испитивања су показала да ово има за последицу већу запремину урина од еквивалентне количине азота у форми пречишћених протеина соје. Млади сисари, који конзумирају само млеко, захтевају додатну количину воде, нарочито при топлом времену. Мада млеко већине врста животиња садржи 80-88% воде, висок садржај протеина има обавезно за последицу висок губитак воде урином, тако да без додатне воде, производни резултати животиња ће бити редуковани.

Повећано конзумирање масти, такође, може повећати узимање воде. Постоје бројни докази да конзумирање NaCl или других соли, повећава конзумирање и екскрецију воде у великој мери у различитих врста животиња. Неке соли могу изазвати дијареју и већу екскрецију воде фецесом, као што је то случај са NaCl. До појаве дехидратације у телесним ткивима може доћи ако вода није на располагању животињи.

Фактори спољашње средине. Као што је напред речено, висока температура представља главни фактор који изазива повећано конзумирање воде. У вези са топлотним стресом је и висока влажност ваздуха, која, такође, повећава потребе животиња у води. Ово је због тога, што је губитак топлоте испаравањем са површине тела и преко плућа, смањен при високој влажности ваздуха.

У животиња држаних у затвореним објектима, доступност води, такође утиче на њено конзумирање, као и чистоћа посуда за воду. У животиња на паши, удаљеност објекта за напајање утиче на учесталост напајања и количину попијене воде. Већа удаљеност има за последицу ређе узимање и мању количину узете воде у току 24 часа.

Количина потребне воде. У практичном смислу потребе организма у води служе, углавном, као замена за воду изгубљену знојем и урином. Произведена метаболичка вода треба да надокнади губитак воде фецесом. Најлакше је смањити губитак воде потребне за формирање екстра урина. Овај губитак може се смањити избором хранива која садрже умерене до мале количине протеина, са неопходним количинама воде. У табели 12 приказане су потребе у води за метаболизам 100 kcal обезбеђених различитим хранивима. Из овога јасно произилази да садржај протеина, угљених хидрата и масти у храни има велики утицај на количину воде коју треба конзумирати.

Начелно се може рећи да животиње конзумирају 2-5 kg воде на 1 kg конзумиране суве материје, под условом да нису под утицајем топлотног стреса. Оне врсте животиња, које имају способност конзервисања воде, захтевају мање, а оне које су адаптиране на влажније услове спољашње околине, конзумирају више воде. Нпр. говеда обично конзумирају воду у односу 4:1, док су овце склоне односу 2,5-3:1. Говеда захтевају више воде од оваца, због тога што не обављају тако ефикасну конверзију воде. Живина обично захтева мање воде од животиња које спадају у сисаре. Младе животиње обично имају веће потребе у води по јединици телесне масе од одраслих животиња. Активност животиња повећава њихове потребе у води. Нервоне животиње, такође, конзумирају више воде од мање активних животиња. Физиолошки, фактори хране и фактори везани за спољашњу околину, утичу на промене у апсорпцији и екскрецији, а на овај начин и на потребе животиња у води. Свиње обично конзумирају 2-2,5 kg воде/kg суве хране у умереном климату, а коњи и живина конзумирају 2-3 kg/kg суве хране. Говеда захтевају 3 до 5 kg воде/kg суве хране, а млада телад 6-8 kg/kg хране. Поред ових општих вредности, конзумирање

воде биће повећано при производњи млека. Утврђене су додатне потребе говеда од 1 до 1,8 kg воде/kg хране, изнад потреба за животињу која није у лактацији. Гравидитет, такође, повећава потребе животиња у води, док овце које носе више фетуса захтевају више воде од животиња са једним фетусом. Детаљнији преглед потреба у води различитих врста и категорија животиња дат је у табели 13.

Табела 12. Количина воде (g) која је потребна за метаболизам 100 kcal обезбеђених различитим хранивима (Lloyd, 1978).

Храна	Раније формирана вода	Формирана метаболичка вода	Вода изгубљена топлотом	Вода изгубљена лучењем коначних производа	Нето дефицит воде
Протеини	0	10,3	60	300	350
Скроб	0	13,9	60	0	46
Маст	0	11,9	60	0	48
Јунеће месо	25	11,3	60	119	143
Јаја	47	11,1	60	154	156
Млеко	127	12,5	60	123	43

Ограничење узимања воде. Снабдевање животиња водом много је рестриктивније него храном. Због тога се среће релативно висок проценат животиња са недостатком воде у одређеном периоду године. У већини врста, животиње воду узимају чешће него храну, али је губитак воде из организма континуиран и варијабилан. На овај начин организам животиње способан је за компензацију, како би одржао своје физиолошке функције. Најзначајнији утицај ограничења у води је мање конзумирање хране и смањена производња животиња. У оваквим случајевима лучење урина и воде фецесом значајно је смањено. При изразитијем ограничењу воде, долази до наглог губитка телесне масе, услед дехидрације организма. Дехидратација је праћена истовременим повећањем бубрежне секреције азота и електролита, као што су Na и K. Рестриција воде изазива оштрије или брже реакције при високим спољашним температурама. Поред дехидрације, брзина пулса и температура ректума обично се повећавају, нарочито при високим амбијенталним температурама, зато што животиња за дуже време нема довољне количине воде за одржавање нормалне телесне температуре. Интензитет дисања се, такође, повећава у овим условима. Коначно, долази до релативно значајног повећања у концентрацији крви, затим губитка интра- и екстрацелуларне и укупне телесне воде, као и тешкоћа у покретању мишића. Животиње показују велику раздражљивост и постају лоше ћуди. Коначно, већи степен опште слабости и смрт животиња последица су њиховог лишавања водом током дужег временског периода.

У погледу недостатка воде који могу толерисати, постоје значајне разлике између појединих врста животиња. Тако, нпр. камила може да поднесе губитак телесне масе од око 30% и више. Међутим, већина животиња не могу да издрже овај степен дехидратације. При умереној рестрикцији воде већина врста животиња показује извесан степен адаптације и делимичне компензације смањеном екскрецијом.

До интоксикације водом може доћи у неких врста (човек, телад) као резултат изненадног конзумирања великих количина воде после краткотрајног периода лишавања. У телади може доћи до угинућа због споре адаптације бубрега на изненадно оптерећење водом.

Табела 13. Потребе у води и уобичајено конзумирање воде код различитих врста и категорија животиња (Ward и McKague, 2007).

Врста/категирија животиње	Потребе у води (l/дан)	Уобичајено конзумирање воде (l/дан)
Телад (1-4 месеца)	4,9-13,2	9
Јунице (5-24 месеца)	14,4-36,3	25
Музне краве (13,6 l млека)	68-83	115
Музне краве (22,7 l млека)	87-102	115
Музне краве (36,3 l млека)	114-136	115
Музне краве (45,5 l млека)	132-155	115
Засушене краве	34-49	41
Прасад (7-22 kg ТМ)	1,0-3,2	2,0
Свиње (23-36 kg ТМ)	3,2-4,5	4,5
Свиње (36-70 kg ТМ)	4,5-7,3	4,5
Свиње (70-110 kg ТМ)	7,3-10	9
Крмаче и нерастови	13,6-17,2	15
Крмаче у лактацији	18,1-22,7	20
Коњ (250 kg ТМ)	13-20	16,5
Коњ (500 kg ТМ)	26-39	32,5
Коњ (750 kg ТМ)	39-59	49
Јагњад (27-50 kg ТМ)	3,6-5,2	4,4
Овца у лактацији	9,4-11,4	10,4
Коке носиље (на 1000 јединки)	180-320	250
Пилићи (на 1000 јединки)	30-180	105

Квалитет воде. Хемијски чиста вода се не среће у природи, пошто подземне и површинске воде увек садрже одређене нечистоће. Загађеност је основни проблем воде и има велики утицај на здравље и производњу животиња. Вода може бити посредник или носач бројних инфективних обољења, као што су лептоспироза, салмонелоза, свињска куга, маститис, слинавка и шап, туберкулоза, бруцелоза, хистоплазмоза, бронхитис, куга живине, антракс, шуштавац и бројна друга обољења. Мада све аеробне и факултативно анаеробне бактерије нису патогене, њихов укупан број у води већ дуже времена користи се као индикатор за одређивање инфективног потенцијала бактерија. Сулфати, флуор, нитрати и хлор, од највећег су значаја у случају подземних вода.

Обично се сматра да се вода погодна за људе, може безбедно користити и за напајање животиња. Квалитет воде може утицати директно на конзумирање хране, јер низак квалитет воде може смањити њено конзумирање, а то директно значи мању производњу животиња. Материје које могу погоршати укус воде укључују различите соли, чија повећана конзумација може довести до испољавања токсичних ефеката. Супстанце које могу бити токсичне, а без великог утицаја на укусност, укључују нитрате, флуориде и соли тешких метала (табела 14). Друге материје, које могу утицати на укус или бити токсичне, укључују патогене микроорганизме (бактерије, протозое, гљиве), алге, угљоводонике и друге уљане супстанце, пестициде и многа индустријска једињења, која, понекад, загађују изворе воде за животиње.

Табела 14. Максимално дозвољене количине потенцијално токсичних неорганских елемената за животиње (NRC, 1997).

Елемент	Горња безбедна граница, mg/l	Елемент	Горња безбедна граница, mg/l
Арсен	0,2 - 0,5	Олово	0,1
Бор	10,0	Жива	0,01
Кадмијум	0,05 - 0,5	Никл	1,0
Хром	1,0 - 5,0	Селен	0,1
Кобалт	1,0	Ванадијум	0,1 - 1,0
Бакар	0,5	Цинк	25,0
Флуор	2,0-3,0		

Минералне соли показују склоност присуства у великим количинама, укључујући карбонате и бикарбонате, сулфате и хлориде калцијума, магнезијума, натријума и калијума. При истој концентрацији, сулфати су обично штетнији од карбоната и хлорида. Утврђено је да слана вода за пиће, која садржи 6000 mg/l растворених хлорида, сулфата и карбоната калцијума и натријума, смањују дневни прираст товне јунади за 10%, у односу на јунад која су добијала воду која садржи 1300 mg/l растворених соли (која се сматра нормалном сољу). Умерена количина NaCl (2500 ppm), код крава високе млечности доводи до повећаног конзумирања воде и незнатног ограничења у конзумирању хране, као и производње млека. Још виши нивои NaCl ће довести до драстичнијих последица.

Вода оцењена као *добра*, треба да садржи мање од 2500 mg/l растворених чврстих материја. Према NRC (2001) вода која садржи мање од 1000 mg/l укупних растворљивих соли *безбедна* је за било коју категорију животиња (табела 15). Вода која садржи 1000-5000 mg/l је безбедна, али може изазвати појаву привремене благе диареје у животиња, које нису навикнуте на ову. Концентрације између 3000 и 5000 mg/l могу изазвати појаву воденастог фецеса и повећану смртност живине. Вода са 5000-7000 mg/l сматра се *прихватљивом* за све животиње, изузев живине. Концентрације веће од 7000 mg/l су непогодне за живину и свиње, мада такву воду не треба користити за гравидне или краве у лактацији, кобиле, овце или младе животиње свих врста. Вода која садржи више од 10000 mg/l (1%) растворљивих соли није за пиће под било којим условима.

Табела 15. Дозвољени праг салинитета (засољености) воде (NRC, 2001).

Врста животиња	mg/l
Живина	3.000
Свиње	4.000
Коњи	6.500
Краве музаре	7.000
Товна јунад	10.000
Овце	13.000

Треба напоменути, да су сви есенцијални минерални елементи присутни у храни, утврђени и у већини извора воде, а нарочито у површинским водама (језера). Значајан део потреба животиња у Na, Ca и S може бити обезбеђен на овај начин.

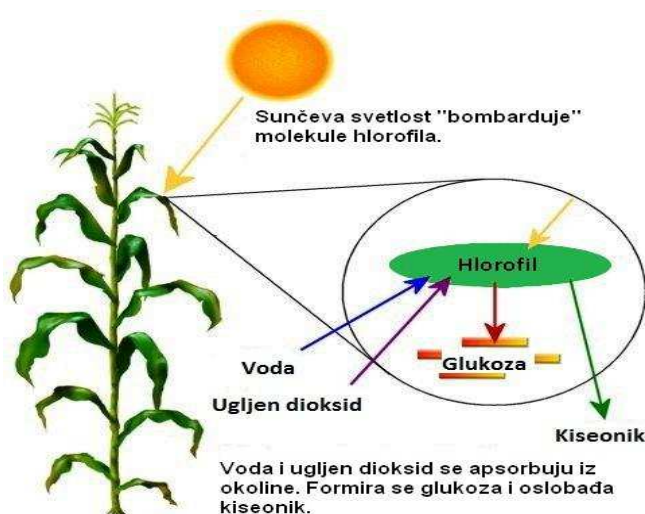
Нитрати и нитрити су широко дисперговани у спољашњој средини, а често су присутни у води. Мада животиње добро подносе концентрације нитрата (NO₃) нормално присутних у води за пиће, дотле се нитрити (NO₂), као редукована форма

нитрата, лако апсорбују из гастроинтестиналног тракта и могу достићи токсичне нивое. Тако, нпр. концентрацију нитрата у води за пиће, од 1300 mg/l, животиње могу добро толерисати, али су нивои нитрита већ преко 33 mg/l токсични. При токсичним концентрацијама нитрити у крви врше оксидацију гвожђа из хемоглобина у метхемоглобин, чиме смањују капацитет крви за пренос кисеоника. Високи нивои нитрата у изворима воде, могу указивати на контаминацију бактеријама. Бактерије имају способност трансформације нитрата у нитрите, тако да овако контаминирана вода може стварати здравствене проблеме људима и животињама.

3.2. УГЉЕНИ ХИДРАТИ

Угљени хидрати представљају бројну и веома комплексну групу органских материја, широко распрострањених у природи. У састав угљених хидрата улазе угљеник (C), водоник (H) и кисеоник (O), од којих су два последња елемента (H и O) присутна у истом односу као у води. Пошто многи од угљених хидрата имају емпиријску формулу $(CH_2O)_n$, где n има вредност 3 или више од тога, горњи назив није потпуно адекватан. Утолико више што нека од једињења са заједничким особинама угљених хидрата, у свом саставу имају и фосфор (P), азот (N) или сумпор (S).

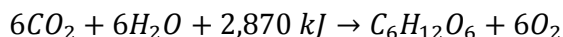
Угљени хидрати формирају дрвенасту структуру биљака, као и најважније резерве хранљивих материја у семену, корену и кртолама. У исхрани животиња угљени хидрати имају улогу извора енергије и волуминозности. Вишак угљених хидрата се депонује у организму животиње у форми телесних масти.



Слика 4. Шематски приказ фотосинтезе

(<https://www.quora.com/What-happens-to-the-wastes-produced-in-a-plant-body>).

Угљени хидрати односно, основни представник моносахарида, глукоза, настаје посредством фотосинтезе (слика 4) када биљке користећи енергију сунца претварају CO_2 из ваздуха и воду у глукозу. Трансформација енергије у току фотосинтезе је један од најважнијих процеса у живом свету, а самим тим је од изузетног значаја за производњу хране.



3.2.1. КЛАСИФИКАЦИЈА И СВОЈСТВА УГЉЕНИХ ХИДРАТА

Угљени хидрати, значајни за исхрану животиња, се деле у три основне групе (табела 16): **моносахариди** или **прости шећери**, **олигосахариди** (садрже 2-8 молекула моносахарида) и **полисахариди** (садрже велики број молекула моносахарида).

Табела 16. Класификација угљених хидрата и њихова појава (Pond и сар., 1995).

Једињење	Садржај моносахарида	Извор
Моносахариди		
Пентозе ($C_5H_{10}O_5$)		
Арабиноза	Пектин, полисахариди, арабан	Кукурузна кочанка, дрво, полисахариди
Ксилоза		
Рибоза	Нуклеинске киселине	
Хексозе ($C_6H_{12}O_6$)		
Глукоза	Дисахариди, полисахариди	
Фруктоза	Дисахариди (сахароза)	
Галактоза	Млеко (лактоза)	
Маноза	Полисахариди	
Дисахариди ($C_{12}H_{22}O_{11}$)		
Сахароза	Глукоза-фруктоза	Шећер из трске и репе
Малтоза	Глукоза-глукоза (глукоза-4- α -глукозид)	Скроб из биљака и корена
Лактоза	Глукоза-галактоза	Млеко
Целобиоза	Глукоза-глукоза (глукоза-4- β -глукозид)	Фиброзни део биљака
Трисахариди ($C_{18}H_{32}O_{16}$)		
Рафиноза	Глукоза-фруктоза-рафиноза	Еукалиптус, зрна памука, шећерне репе
Полисахариди		
Пентозани ($C_5H_8O_4$) _n		
Арабан	Арабиноза	Пектини
Ксилан	Ксилоза	Кукурузна кочанка, дрво
Хексозани ($C_6H_{10}O_5$) _n		
Скроб	Глукоза	Зрно житарица, семење
Декстрин	Глукоза	Парцијални хидролитички производ скроба
Целулоза	Глукоза (глукоза-4- β -глукозид)	Ћелични зидови биљака
Гликоген	Глукоза	Јетра и мишићи животиња
Инулин	Фруктоза	Кромпир, гомољаче, артичока
Смеше полисахарида		
Хемицелулоза	Смеша пентоза и хексоза	Фиброзне биљке
Пектини	Пентозе и хексозе помешане са солима комплекс. Киселина	Плодови цитруса, јабуке
Гуме	Пентозе и хексозе	Дрво акације и др. биљке

Моносахариди

Моносахариди или прости шећери се ретко јављају слободни у природи. Заправо, они представљају градивне јединице сложенијих молекула угљених хидрата. Стога, моносахариди у организму животиње, углавном настају као производи различитих метаболичких процеса. Ови шећери се класификују према броју атома угљеника у молекулу. Тако, нпр. *триоза* је шећер који садржи 3 угљеникова атома (дихидроксиацетон и глицералдехид су триозе), а *тетроза*

садржи 4 атома угљеника (еритроза). Ови моносахариди су најчешће интермедијери у метаболизму угљених хидрата, док је значај *пентоза* (шећери са 5 С атома) и *хексоза* (са 6 С атома) знатно већи (табела 17). Такође треба нагласити да се свега два од укупног броја моносахарида (глукоза и фруктоза) јављају у природи у слободној форми. У зависности од тога да ли садрже алдехидну или кето групу, моносахариди се деле на *алдозе* и *кетозе*.

Пентозе. Веома ограничене количине овог типа шећера присутне су у слободној форми у биљкама. Обично су пентозе полимеризоване (хемијски комбиноване у веће молекуле) и формирају полимере *пентозане*.

Рибоза, најраспрострањенија пентоза, присутна је у свакој ћелији организма. Она се јавља у великом броју једињења која играју важну улогу у метаболизму, као што су АТФ, АДФ, рибофлавин и RNA.

Ксилоза, полимеризацијом формира пентозан ксилан. Ксилоза може бити произведена хидролизом једног броја кабастих хранива и дрвенастих материја, укључујући сено, сламу, плеву од овса и кочанке од кукуруза.

Арабиноза је шећер који се среће у великим количинама у биљним гумама. Када се један број молекула арабинозе међусобно повеже, формира се пентозан *арабан*. Арабани и ксилани чине значајан део *хемицелулозе*.

Хексозе. У физиолошким системима утврђено је присуство 4 хексозе: *фруктоза*, *глукоза*, *галактоза* и *маноза*. *Глукоза* је основни моносахарид и умерено је слadak шећер. Она у организму животиња углавном настаје варењем скроба и целулозе. У току метаболизма у организму животиње, сви остали типови шећера могу се на крају трансформисати у глукозу. У ствари, глукоза представља форму у којој шећер циркулише у крви за обезбеђење најважнијег извора телесног “горива” за оксидацију, неопходног за производњу енергије.

Фруктоза, шећер који је присутан у воћу и меду, је најслађи од свих простих шећера. *Галактоза* се обично не среће слободна у хранивима, али се производи из *лактозе* (млечног шећера), а затим трансформише у глукозу за производњу енергије. Ова реакција је реверзибилна. То значи да у току лактације глукоза може бити реконвертована у галактозу, за коришћење у производњи млека.

Олигосахариди

Префикс олиго значи неколико. Олигосахариди садрже 2-10 молекула моносахарида, међусобно хемијски повезаних. Већина олигосахарида настаје делимичном разградњом полисахарида.

Дисахариди. Дисахариди су једињења шећера, изграђена из 2 међусобно повезана молекула моносахарида. Физиолошки најважнији дисахариди су: *малтоза*, *лактоза*, *сахароза* и *целобиоза*. *Малтоза* и *целобиоза* садрже 2 молекула глукозе, али се међусобно разликују по начину на који су молекули глукозе повезани. Представљају основне градивне јединице скроба и целулозе. Малтоза се састоји од два молекула α -Д-глукозе, повезаних међусобно α -1,4 везом, док се целобиоза састоји од два молекула β -Д-глукозе, повезане заједно у β -1,4 ланац. Малтоза настаје као интермедијарни производ разградње скроба, деловањем ензима у току варења. Поред тога, малтоза се јавља и у производима слада у току хидролизе скроба и исклијавања зрна житарица. Такође, малтоза представља основну компоненту гликогена.

Табела 17. Преглед најважнијих угљених хидрата и њихових особина за исхрану животиња (Ensminger и сар., 1990).

Класификација	Главни извори у храни	Коначан произв. варења	Нутритивне функције
Шећери (растворљиви у води)			
Моносахариди			
Триозе ($C_3H_6O_3$)			
Дихидроксиацетон	Глукоза (воће и сок биљака)	Настаје оксидац. глюкозе	Међупроизвод у метаболизму глюкозе
Глицералдехид			
Тетрозе ($C_4H_8O_4$)			
Еритроза			
Пентозе ($C_5H_{10}O_5$)	Слободне, чине мали део оброка животиња		
Арабиноза	Гуме као што је гуми арабика	Арабиноза	
Рибоза	Формира се у току метабол. процеса	Рибоза	Компонента сваке живе ћелије. Јавља се у метабо. ATP-a, ADP-a, рибофлавина и RNA
Ксилоза	Настаје при хидролизи сена, сламе, овсене плевне и кук. кочанки	Ксилоза	
Хексозе ($C_6H_{12}O_6$)	Велика група шећера, са значајном улогом у исхрани		
Фруктоза	Воће, хидролиза сахарозе из тршчаног шећера	Фруктоза	Мења се у глюкозу у јетри и цревима, служи као телесно гориво
Галактоза	Компонента млечног шећера	Галактоза	Мења се у глюкозу у јетри; гориво за ћелију; синтетизује се у млечној жлезди; компонента гликолипида и гликопротеина
Глукоза	Воће; хидролиза скроба, трш. шећера, малтозе и лактозе	Глукоза	Телесни “шећер”; крв и ткивне течности; гориво за ћелије
Маноза	Хидролиза биљних манозана и гума; легуминозе.	Маноза	Компонента полис., албумина, глобулина, мукопротеина, гликопротеина.
Олигосахариди (2-10 C атома)			
Дисахариди ($C_{12}H_{22}O_{11}$)	Полимери глюкозе		
Целобиоза	Не јавља се у природи у слобод. форми; само као комп. целулозе		
Лактоза	Млеко и млечни производи	Глукоза и галактоза	Хидролизује се у глюкозу и галактозу, телесно гориво, компонента млека.

Табела 17. Преглед најважнијих угљених хидрата и њихових особина за исхрану животиња (Ensminger и сар., 1990) (наставак).

Класификација	Главни извори у храни	Коначан произв. варења	Нутритивне функције
Малтоза	Скроб	Глукоза	Хидролизује се у Д-глукозу, основно телесно гориво и метаболит, ферментабилан.
Сахароза	Трска и шећерна репа, меласа.	Глукоза и фруктоза	Хидролизује се у глукозу и фруктозу, телесно гориво
Трисахариди (C₁₈H₃₂O₁₆)			
Рафиноза	Семе легуминоза, шећерна репа		
Нешећери			
Полисахариди (гликан, >10 јединица шећера)			
Хомогликани (јединице простог шећера)			
Пентозани (C ₅ H ₈ O ₄)			
Арабани (Арабиноза)			
Ксилани (Ксилоза)			
Хексозани (C ₆ H ₁₀ O ₅)			
Фруктани			
Глукани			
Целулоза, β-везе (глукоза)	Стабљике, лишће биљака, плева зрна	Глукоза, сирћетна кис.	Обезбеђује енергију, задржава воду, смањује интралуминални притисак у дебелом цреву, везује цинк. Обезбеђује енергију за потребе животиња.
Декстрини, α-везе (глукоза)	Скроб од зрна житарица подвргнут хидролизи или топлоти.	Глукоза	
Гликоген, α-везе (глукоза)	Споредни производи од меса и рибе	Глукоза	Обезбеђује енергију за потребе животиња
Скроб, α-везе (глукоза)	Зрна житарица, стабло и лишће биљака	Глукоза	Обезбеђује енергију за потребе животиња
Манани	Семе палме	Глукоза	
Хетерогликани (2-6 различитих врста јединица шећера)			
Гуме	Секрети биљака, Алге	Моносахариди и уронска киселина	Споро пражњење желуца; обезбеђење ферментабилних материја за бактерије дебелог црева, са производњом гаса
Хемицелулоза (β-везе)	Ћелијски зидови биљака	Један број моносах., укључ. глукозу, ксилозу, манозу, арабинозу, галактозу и сирћетну кис.	Обезбеђује енергију, задржава воду и повећава запремину фецеса, смањује повећани притисак у колону; везивање жучних киселина.
Лепкови	Биљни секрет и семена.		

Табела 17. Преглед најважнијих угљених хидрата и њихових особина за исхрану животиња (Ensminger и сар., 1990) (*наставак*).

Класификација	Главни извори у храни	Коначан произв. варења	Нутритивне функције
Мукополисахариди	Везивно ткиво животиња	Амино шећери	Обезбеђује чврстину телесним ткивима.
Пектини (α -везе)	Цитрусно воће, шећерна репа, јабуке	Галактуронска киселина, галактоза, арабиноза, рам- ноза и др. шећери	Велики капацитет за задржавање воде. За смањење диареје у телади
Специфична једињења			
Хитин	Егзоскелет инсеката и љускара		
Лигнин (није угљени хидрат)	Дрвенасти делови биљака–кочанке и плеве; у фиброзним деловима корена, стабла и лишћа.		Антиоксиданти; везује жучне киселине и метале

Лактоза, присутна једино у млеку, садржи по један молекул галактозе и глукозе. Формира се у млечној жлезди животиња из глукозе и служи за обезбеђење угљенохидратне компоненте у млеку у току лактације животиња. Лактоза је најмање слатка од свих дисахарида, за око 6 пута мање од фруктозе.

Сахароза се састоји од по једног молекула фруктозе и глукозе. Позната је као шећер за људску исхрану и најраспрострањенији је шећер хране. Налази се у шећерној репи и шећерној трсци, чији споредни производи (резанци) служе за исхрану животиња, а у мањим количинама има је и у сточној репи. Сахароза се јавља у већим количинама од моносахарида, од 2-8% у сувој материји зелених кабастих хранива. Количина шећера у биљкама расте у току дана, као последица фотосинтезе, а опада у току ноћи. Успех у конзервисању (силирању) зелених кабастих хранива, зависи од количине лако ферментирајућих угљених хидрата (шећера, скроба или фруктозе) у биљкама.

Дисахариди (сахароза, лактоза или малтоза) се не могу апсорбовати кроз слузокожу црева, већ претходно морају бити разграђени до форме моносахарида, посредством одговарајућих ензима.

Трисахариди. Трисахариди нису присутни у великим количинама у природи, али се 2 трисахарида - *рафиноза* и *мелизитоза*, срећу у ограниченим количинама у одређеним биљкама. Рафиноза, присутна у великим концентрацијама у шећерној репи, састоји се од глукозе, фруктозе и галактозе. Мелизитоза, компонента сока неких четинарских биљака, садржи 2 молекула глукозе и 1 молекул фруктозе.

Полисахариди (сложени шећери)

Полисахариди су комплексни шећери, састављени из великог броја простих шећера. Користе за депоновање угљених хидрата или механичку стабилност биљака. Полисахариди су подељени у *хомогликане*, полимере само једног моносахарида, и *хетерогликане*, који садрже 2-4 врсте моносахарида. Хомогликани се затим деле у групу коју чине пентозе (пентозане) и групу коју чине хексозе (хексозане).

Хомогликани

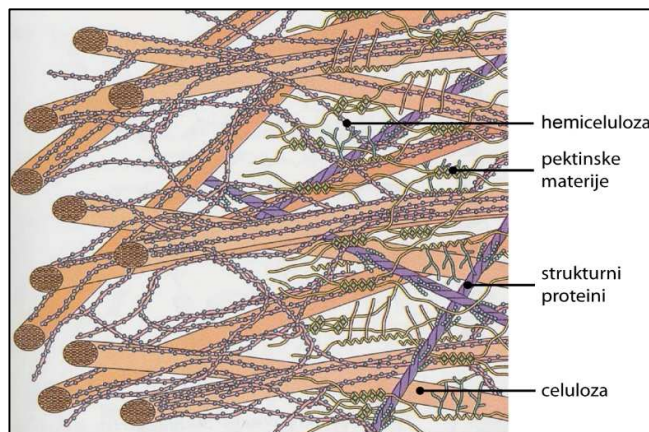
Хомогликане карактерише присуство само једне врсте моносахарида. Тако они састављени од глукозе се називају глукани, од фруктозе фруктозани, од галактозе галактани, од манозе манани. Овде спадају пентозани и хексозани.

Пентозани. Могу представљати 1/5 од укупне количине свих присутних сложених угљених хидрата у сену. У току комплетне хидролизе киселинама, пентозани дају пентозе, као што су *арабиноза* и *ксилоза*. Пентозане, међутим, не разграђују ензими сисара, али их брзо хидролизују ензими микроорганизама и плесни у румену преживара. Кувањем пентозана са HCl, добија се алдехид фурфурал. Ова реакција се користи за производњу фурфурала из плевје овса и кукурузних кочанки.

Хексозани. То су полисахариди изграђени из хексоза као њихових основних јединица. До сада је утврђено присуство неколико полимера глукозе у физиолошким системима. Разлика између појединих једињења последица је повећавања молекула глукозе. Главни полимери глукозе су: *целулоза*, *гликоген* и *скроб*.

Целулоза. Целулоза је полисахарид, присутан у највећим количинама у природи, где чини близу 50% од укупне количине органског угљеника. Целулоза чини најважнију структурну материју ћелијских зидова биљака, тако да око 20-40% суве материје зелених биљака отпада на целулозу. У хемијском погледу целулоза представља линеарни полимер β -1,4 везаних молекула Д-глукозе. Број полимеризованих молекула глукозе најчешће се креће између 900 и 2000. Целулоза је присутна у биљним ткивима у облику влакана, изграђених од кристалних микрофибрила, који се састоје од ланаца целулозе и одржавају се међусобно помоћу јаких водоничних веза. Оваква грађа представља основу механичке структуре виших биљака. Постојање β -везе између молекула глукозе, чини целулозу веома нерастворљивом и отпорном на деловање различитих ензима. Целулозу, међутим, могу разграђивати само ензими микроорганизама, присутни у румену преживара и задњим деловима дигестивног тракта различитих животиња. Кристални микрофибрили целулозе обложени су аморфним матриксом, састављеним од хемицелулозе, лигнина и извесних количина протеина, који заједно чине зидове ћелија (слика 5). Целулоза је у чврстој вези са лигнином, што отежава микробиолошку разградњу целулозе.

Непреживари не производе ензиме који ефикасно кидају везе између молекула глукозе у целулози, те су лоши корисници фибрознних биљних хранива. Насупрот њима, микроорганизми из румена преживара производе ензим *целулазу*, због чега ове врсте животиња ефикасно користе хранива богата у целулози.

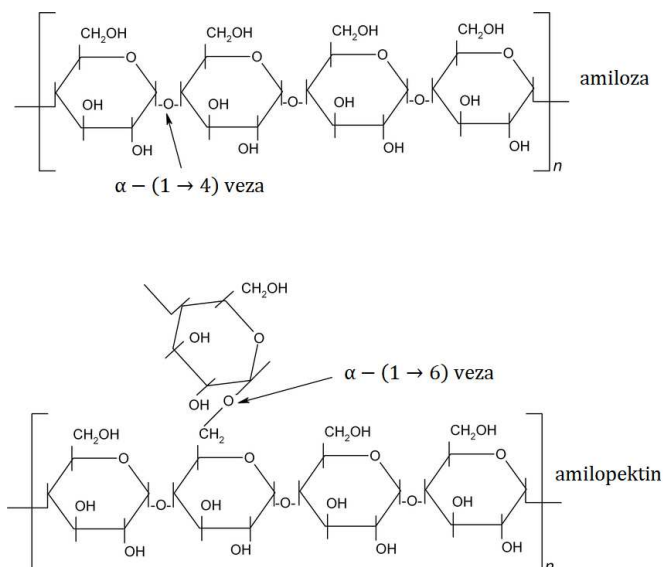


Слика 5. Грађа хелијског зида биљака
(<https://www.tehnologijahrane.com/enciklopedija/pektinske-materije>).

Гликоген. Гликоген или “животињски скроб” је главни резервни извор глукозе у животињском организму. Мала количина резервних угљених хидрата у организму животиња, налази се у јетри и мишићима у форми гликогена. Гликоген по својој грађи подсећа на амилопектин. После сваких 10-12 молекула глукозе, долази до гранања ланца гликогена. Резерве гликогена у животињском организму веома су ограничене и могу обезбедити гладовање животиње до 24 часа. Јетра различитих врста животиња садржи следеће количине гликогена: теле 2-5%, одрасло говече 1,5-4%, кокош 3-4%, гуска 4-6%. Од укупне количине гликогена, присутног у организму животиње, око 40% се налази у јетри, а 45% у мишићима.

Скроб. По својој количини скроб је најважнији полисахарид у исхрани непреживара. У исто време, скроб представља главни резервни угљени хидрат у биљкама, а има га у семену житарица (до 70%), споредним производима њихове прераде, као и коренасто-кртоластим плодовима (око 30% у сувој материји). Зелени делови, лишће и стабла биљака, садрже мале количине скроба.

Скроб представља смешу два типа полимера, *амилозе* и *амилопектина*. Амилоза има молекула у облику једноставног ланца, у који улази 250-300 молекула глукозе, међусобно повезаних помоћу α -1-4 веза. Амилопектин представља веома разгранати молекул, где свака од грана садржи 24-30 молекула глукозе, са α -1-6 везама на месту гранања и α -1-4 везама унутар ланца (слика 6). Однос амилозе и амилопектина варира у различитим биљним врстама, али најчешће на један молекул амилозе долази три молекула амилопектина. Скроб је присутан у биљкама у форми малих зрнаца, која су специфична за сваку врсту скроба. Извор скроба може се идентификовати микроскопским путем на основу облика и величине зрнаца. Однос амилозе и амилопектина у скробу кукуруза, зрна житарица и других хранива богатих у скробу варира. Тако, нпр. зрно кукуруза стандардног квалитета садржи 24% амилозе и 76% амилопектина, док тзв. воштани кукуруз (*енг. waxy corn*) садржи 1% амилозе и 99% амилопектина.



Слика 6. Хемијска структура амилозе и амилопектина.

Скроб у пиринчу и кромпиру садржи око 20% амилозе и 80% амилопектина, док скроб у зрну пшенице обично садржи однос амилозе и амилопектина сличан њиховом односу у стандардном кукурузу. Однос амилозе и амилопектина у зрну пшенице има одређеног утицаја на карактеристике млевења и печења различитих сорти пшенице. Важан селекцијски критеријум за селекционере пшенице је састав скроба у зрну пшенице за специфичне намене. Ензими за варење које лучи организам животиње, обично су способни да врше ефикасно хидролизу оба типа скроба.

У природном стању скроб се у кртолама кромпира налази у облику нерастворљивих зрнаца, која су отпорна на варење. Зато се хранива, као што је кромпир, морају пре употребе у исхрани свиња и живине кувати. Кувањем се повећава сварљивост скроба, услед разградње и повећања растворљивости његових зрнаца.

Хетероглигани

Хетероглигани су полисахариди који садрже 2-4 различита молекула моносахарида. Од ових једињења за исхрану животиња од значаја су само следећи хетероглигани: *хемицелулоза*, *слузи*, *мукополисахариди* и *пектини*.

Хемицелулоза. Хемицелулоза је хетерогена смеша, састављена од одређеног броја различитих моносахарида, укључујући: *арабинозу*, *глукозу*, *галактозу*, *манозу*, *ксилозу* и *уронску киселину*. Различите врсте хемицелулозе јављају се у ћелијским зидовима биљака, које се користе као кабаста хранива у исхрани животиња. Хемицелулоза је редовно удружена са лигнином и са њим облаже целулозна влакна. Хемицелулоза је мање отпорна на деловање хемијских агенаса од целулозе и може се хидролизовати деловањем благих раствора киселина. Непреживари знатно боље варе хемицелулозу од целулозе. У преживара највећи део целулозе се вари у румену. Известан део хемицелулозе избегава варење у румену и подлеже ферментацији у задњим деловима дигестивног тракта.

Мукополисахариди. Мукополисахариди, широко распрострањени у везивном ткиву животиња, веома су вискозне материје које лако формирају гел. Синтетизују се углавном, из аминокиселина Д-глюкозамина и Д-галактозамина, заједно са појединим уронским киселинама. Они обезбеђују извесну крутост ткивима биљака.

Пектини. Пектини се налазе у просторима између биљних ћелија и интрацелуларних слојева, а могу инфилтрирати и саме зидове ћелија. Пектин има улогу интрацелуларног цемента, док се хемицелулоза јавља у секундарним задебљањима зидова ћелија. Хемијска грађа пектина знатно је уједначенија од грађе хемицелулозе. Састоје се од *галактуронске киселине*, *галактозе* и молекула *арабинозе*. Пектинских материја има нарочито много у цитрусном воћу, шећерној репи и јабуци. Пектин се може екстраховати топлотом или хладном водом, при чему се ствара гел као што је желатин и џем. Због великог капацитета за задржавање воде, често се користи за третирање телади са дијарејом. Пектини се варе претежно деловањем микроорганизама и захваљујући њима, добро их користе преживари.

Специфична једињења. У природи постоји одређен број комплексних помешаних полисахарида. Многа од њих имају структурну или заштитну функцију. Од највећег значаја међу њима су *хитин* и *лигнин*.

Хитин. Хитин формира чврсту материју егзоскелета инсеката и љускара. Изграђен је из Н-ацетил-Д-глюкозамина и са становишта исхране животиња није апсолутно значајан.

Лигнин. Лигнин је једињење велике релативне молекулске масе, а представља полимер деривата фенолпропана, као што су *n*-кумарил, *n*-кониферил и синапил алкохола. Лигнин не спада у групу угљених хидрата, али због његове чврсте везе са целулозом и хемицелулозом, најчешће се разматра заједно са угљеним хидратима. Лигнин редовно прати влакна целулозе, дајући тако чврсту механичку структуру стаблу биљака. Лигнин може да чини 5-10% суве материје једногодишњих биљака. Проценат лигнина у биљкама и њихов састав у погледу садржаја 3-фенолпропанола, садржаја метоксила и азота, варирају у зависности од врсте и старости биљака.

Лигнин је хемијски веома стабилан због његове кондензоване структуре и стога веома отпоран на деловање ензима микроорганизама. Управо због веома чврсте везе са лигнином, целулозу и хемицелулозу могу варити само преживари, и то у ограниченим количинама. Садржај метоксила у лигнину, знатно смањује брзину пролаза кроз дигестивни тракт преживара. Лигнин се налази у дрвенастом делу биљака, као што је тврдо дрво лишћара (које садржи највеће количине лигнина од свих биљних врста), кочанкама и плеви житарица, као и у фиброзним деловима корена, стабла и лишћа. Његов садржај се повећава са старењем биљака, а његова хемијска веза, нарочито са хемицелулозом и целулозом, значајно смањује сварљивост целулозе. Третирање базама високо лигнификованих кабастих хранива, као што су различите врсте слама, разграђује везу хемицелулоза-лигнин, повећавајући тако сварљивост хемицелулозе, без разградње лигнина.

У одраслом дрвећу лигнин представља главну структурну компоненту. Житарице имају низак садржај лигнина, траве садрже умерене количине, док легуминозе имају виши садржај лигнина. Садржај лигнина у храниву утиче на биодоступност целулозе и хемицелулозе за потребе микроорганизама и тако утиче на хранљиву вредност биљног материјала у исхрани животиња.

Сирова влакна у младим зеленим биљкама у порасту, знатно су сварљивија од сирових влакана у већини врста сена. Исто тако, сирова влакна у сену рано покошених биљака сварљивија су него у сену добијеном од биљака покошених при крају цветања или са семеном. До разлика долази услед разлика у хемијској и физичкој структури, а такође и због присуства одређених материја (нарочито лигнина), које су депоноване у зидовима ћелија биљака, а чија се количина повећава са старењем биљака. Младе животиње свих врста, јунад и јагњад у завршном периоду това, затим краве високе млечности, свиње, живина и коњи, морају добијати оброке у којима велики део присутних угљених хидрата има мали садржај влакана, али зато богатих у безазотним екстрактивним материјама (БЕМ). Насупрот њима, значајна количина влакана је неопходна у оброцима одраслих животиња свих врста преживара. Такође, у исхрани младих животиња за приплод, повећање учешћа влакана, испољава тенденцију умереног пораста и не тако утовљених животиња.

За подстицање доброг тонуса мишића и активности у гастроинтестиналном тракту, све врсте животиња морају добијати одређене количине грубих кабастих хранива у свом obroку, са изузетком свиња и живине.

Класификације угљених хидрата у исхрани преживара

Због великог значаја угљених хидрата у исхрани преживара, развијене су различите методе за њихово одређивање и различите класификације ове велике групе хранљивих материја. Подела која се најдуже користила је подела на **сирову целулозу** и **безазотне екстрактивне материје** (БЕМ). Сирова целулоза би требала да обухвата тешко сварљиве угљене хидрате, а БЕМ оне који су лако доступни. Међутим, то није увек случај, а ова анализа се данас сматра застарелом у исхрани преживара. Уместо ње, данас се најчешће користи класификација која проистиче из **Van Soest** анализе хранива: подела угљених хидрата на **NDF** (*neutral detergent fiber* – неутрална детергентска влакна) и **NFC** (*non-fibrous carbohydrates* – нефиброзни угљени хидрати). **NDF** обухвата целулозу и једињења са којима је повезана, хемицелулозу и лигнин, а **NFC** обухвата угљене хидрате које преживари лако и успешно варе, скроб, пектине и шећере. **NDF** је данас незаменљив показатељ огромног значаја у исхрани преживара, који се мора пажљиво балансирати у оброцима. Вишак **NDF**-а доводи до смањене конзумације, спорог варења и мале производње или успореног пораста, док недостатак **NDF**-а доводи до поремећаја преживања и обољења дигестивног тракта. **NDF** се даље дели на **ADF** (*acid detergent fiber* – кисела детергентска влакна) и хемицелулозу, а **ADF** на целулозу и лигнин. Постоје и сложеније класификације угљених хидрата у исхрани преживара, као што су оне разрађене у оквиру модела за исхрану преживара развијених на Корнел (*Cornell*) универзитету у САД-у. Уз угљене хидрате ту је уврштен и лигнин, као и у претходним класификацијама, али и продукти ферментације угљених хидрата – ниже масне киселине. У првој верзији Корнел модела, класификација угљених хидрата је била нешто простија и обухватала је четири фракције: А, Б1, Б2 и Ц. Временом је ова класификација усложњена и тако у шестој верзији модела обухвата чак 8 фракција угљених хидрата и повезаних једињења (табела 18).

Метаболизам угљених хидрата у непреживара и преживара

Производи варења угљених хидрата у непреживара, значајно се разликују од оних у преживара. Главни производ варења угљених хидрата у непреживара је

глюкоза која потиче претежно од скроба, количински најважнијег угљеног хидрата у оброчима свиња и живине.

У исхрани преживара нерастворљиви и растворљиви угљени хидрати ферментишу до испарљивих масних киселина, које замењују глюкозу, као најважнији извор енергије и почетни материјал за биосинтезу телесних материја и различитих производа. Испарљиве масне киселине апсорбују се кроз зид румена, а потом доспевају у крвоток и овим транспортују до различитих органа. Ензимски системи, неопходни за искоришћавање испарљивих масних киселина, добро су развијени у ткивима преживара. Директна апсорпција глюкозе, која избегава ферментацију, јавља се у преживара у веома ограниченом обиму.

Табела 18. Фракције угљених хидрата у Корнел систему за исхрану преживара.

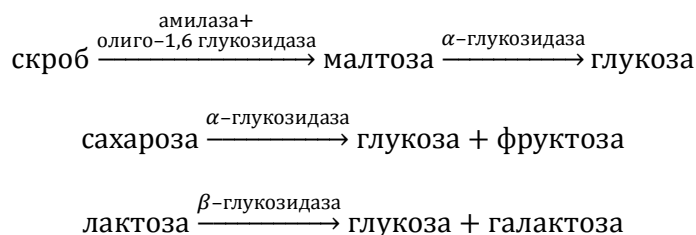
	Фракције према Kornel моделу:	
	верзија 1 (<i>Sniffen u cap.</i> , 1992)	верзија 6 (<i>Lanzas u cap.</i> , 2007)
Испарљиве масне киселине	A	A1
Млечна киселина	A	A2
Остале органске киселине	A	A3
Шећери	A	A4
Скроб	B1	B1
Растворљива влакна-пектини и бета глукани	B1	B2
Доступна NDF влакна-хемицелулоза и целулоза	B2	B3
Недоступна NDF влакна-лигнин и за њега везана влакна	Ц	Ц

3.2.2. МЕТАБОЛИЗАМ УГЉЕНИХ ХИДРАТА У НЕПРЕЖИВАРА

Скроб је једини од полисахарида који се веома ефикасно користи у исхрани непреживара. Варeње и апсорпција скроба одвија се у почетном делу црева. Најважнији ензим за варeње угљених хидрата α -амилаза, лучи се заједно са панкреасним соком и делује у лумену црева. α -амилаза се лучи у плувачци свиња и живине и испољава само ограничену активност. Овај ензим цепа α -1,4 везе присутне у линеарном ланцу амилозе, што доводи до стварања смеше малтозе и малих количина глюкозе. Главни састојак скроба, амилопектин, поред α -1,4 гликозидних веза, садржи и одређене разгранате α -1,6 гликозидне везе.

Пошто α -амилаза не може хидролизовати α -1,6 разгранате молекуле, коначни производи хидролизе амилопектина, поред малтозе и разгранатих олигосахарида, садрже и око 10 молекула глюкозе. Разгранати олигосахариди на крају бивају разграђени деловањем ензима олиго-1,6-глюкозидазе, а као коначни производи настају малтоза и глюкоза. Даља хидролиза дисахарида се не одвија у лумену црева, као ни малтозе пореклом из скроба и дисахарида хране (сахарозе или лактозе). Различите дисахаридазе, које врше коначну хидролизу дисахарида, лоциране су у спољашним израштајима мембране микропапила.

Следећа шема приказује начин деловања карбохидраза:



Интрацелуларне амилазе, лоциране у спољашњем слоју мембране микропапила, довршавају хидролизу скроба, коју започиње панкреасна амилаза. Дисахаридазе са спољашње површине мембрана папила, испољавају своју активност у уској спрези са механизмом за трансфер моносахарида. Моносахариди ослобођени у току хидролитичке активности, транспортују се покретним носачима везаним за јоне натријума, кроз мембране микропапила у ћелије за апсорпцију (ентероците). Механизам за апсорпцију шећера у цревима, укључује активни транспорт. Апсорбовани шећери затим бивају ношени порталном крвљу до јетре.

Глюкоза је најважнији извор енергије за непреживаре и представља полазну супстанцу за предстојеће процесе биосинтезе. Крв је најважнији посредник у транспорту глюкозе. У нормалним условима, концентрација глюкозе у крви одржава се у уским границама физиолошких вредности. У крви непреживара и човека, ниво глюкозе креће се између 70 и 100 mg/100 ml, у преживара 40 до 70 mg/100 ml. У живине је нешто већи и креће се од 130 до 260 mg/100 ml. Ниво глюкозе у крви животиња, резултат је деловања два супротна процеса: (1) доласка глюкозе у крв из црева животиња (пореклом из хране), јетре и других органа, и (2) одласка глюкозе из крви у различита телесна ткива (јетра, мишићи, бубрези, адипозно ткиво, мозак) и њено искоришћавање у овим ткивима за оксидацију и процесе биосинтезе.

Ниво глюкозе у крви животиња одржава се у прилично уским границама, претварањем глюкозе из крви у гликоген (углавном у јетри) и реконверзијом гликогена у глюкозу (гликогенолиза):



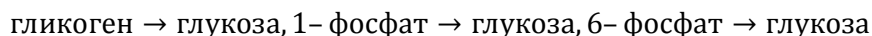
Ниво глюкозе у крви животиња, који редовно расте после обилне исхране угљеним хидратима (хипергликемија), враћа се на нормалан ниво депоновањем глюкозе у форми гликогена. Насупрот овоме, ниски нивои глюкозе (хипогликемија), до којих долази при гладовању, услед повећаних потреба у глюкози за енергетске сврхе, превенирани су ослобађањем глюкозе из гликогена.

Извори глюкозе у крви. Глюкоза присутна у крви пореклом је из апсорбоване глюкозе, из хране, глюкозе настале синтезом из различитих прекурсора у јетри и глюкозе ослобођене из гликогена, депонованог претежно у јетри.

(1) апсорпција глюкозе настале варењем олиго- и полисахарида хране

(2) следећи извори глюкозе настају биосинтезом у телесним ткивима, углавном у јетри, из метаболита који нису пореклом из угљених хидрата, глюкогених супстанци, као што су аминокиселине, млечна киселина, пропионска киселина и глицерола. Овај процес се назива глуконеогенеза. Количина синтетисане глюкозе у ткивима омнивора непрживара је значајна, али никада не достиже количину која је пореклом из хране. Карниворе добијају храном веома мале количине глюкозе и највећи део њихових потреба у глюкози обезбеђују биосинтезом, претежно из аминокиселина.

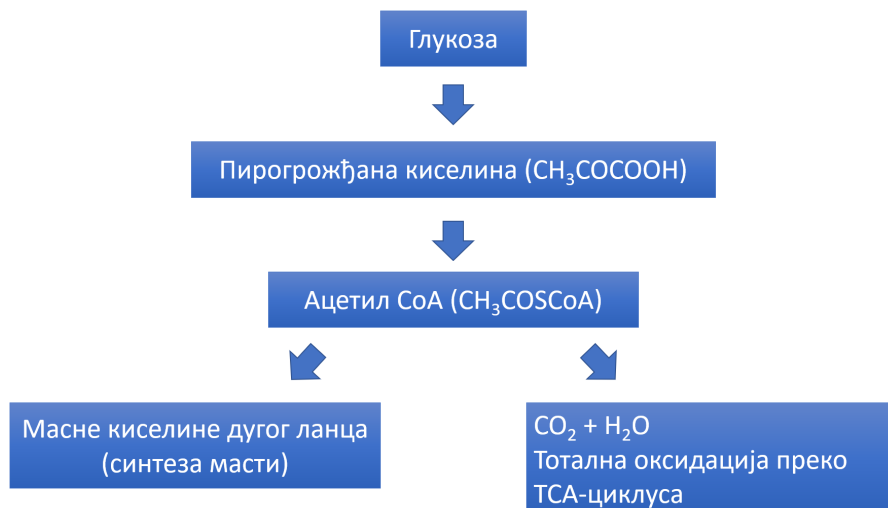
(3) гликоген, депонован у јетри, служи као резерва глюкозе, неопходне у метаболичким процесима. Депои гликогена настају из апсорбоване глюкозе или глюкозе добијене глуконеогенезом. Глюкоза се из гликогена ослобађа у току ензимске разградње, познате под именом *гликогенолиза*:



Глюкоза крви, која је доспела у ћелије различитих органа, а нарочито јетру, може бити искоришћена на следеће начине:

(1) за синтезу гликогена. Као што је већ речено, гликоген је веома важан депо доступне енергије у јетри, мишићима и другим телесним ткивима, а игра значајну улогу у одржавању нивоа глюкозе у крви. Синтеза гликогена је стимулисана оброцима богатим у угљеним хидратима. Овакви оброци омогућавају додатно депоновање глюкозе.

(2) трансформацију у телесне масти. Количина глюкозе, која може бити депонована у форми гликогена је ограничена. Зато, када количина конзумираних угљених хидрата прелази количину која је потребна за производњу енергије и депоновање у облику гликогена, долази до конверзије глюкозе у телесну маст. До синтезе масти долази у јетри или адипозним ткивима. Подела овог процеса између јетре и адипозног ткива, разликује се у различитих врста животиња. Биосинтеза масти у живине одвија се углавном у јетри, а у свиња у адипозном ткиву. Формирање масти из глюкозе укључује разградњу глюкозе до пирувата:

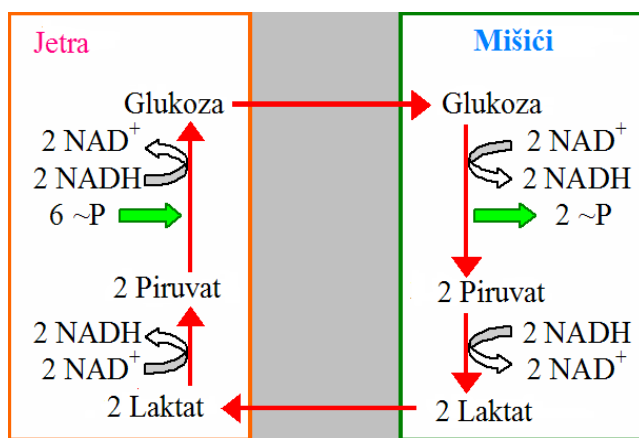


Формиране масне киселине могу бити депоноване у великим количинама, у форми триглицерида или употребљене директно за производњу енергије, нарочито у мишићима.

(3) трансформацију у аминокиселине. Неесенцијалне аминокиселине, синтетизоване у организму животиња, настају из угљениковог ланца, формираног из интермедијарних производа разградње глукозе.

(4) као извор енергије. Глукоза је најважније гориво у организму моногастричних животиња. Глукоза улази у процесе који воде у правцу оксидације до CO_2 и воде, при чему настаје АТФ као извор енергије. Глукоза је једини извор енергије у црвеним крвним зрнцима, а количински је веома важно гориво за мозак, нервно и мишићно ткиво. Нервно и мишићно ткиво могу обезбедити своје потребе у енергији делимично и из других хранљивих материја, као што су масне киселине и кетонска тела.

Депои глукозе у мишићима служе за анаеробно снабдевање мишићне активности у случају када снабдевање кисеоником није довољно за потпуну оксидацију глукозе преко циклуса трикарбонских киселина. При анаеробним условима, глукоза мобилисана из гликогена мишића, трансформише се у лактате (соли млечне киселине) путем гликолизе. Лактати се не могу метаболисати у мишићима, али веома лако напуштају мишићне ћелије и улазе у крв. Лактати се користе од стране јетре за ресинтезу у глукозу, а потом у гликоген (слика 7). Глукоза затим може бити мобилисана из гликогена јетре и циркулацијом прећи у мишиће, где гликоген бива ресинтетисан на следећи начин:



Слика 7. Шематски приказ Cori-евог циклуса или циклуса млечне киселине.

Значај несварљивих угљених хидрата у оброцима непреживара

Целулоза и хемицелулоза не подлежу разградњи у танким цревима свиња и живине, већ се то одвија у слепом цреву. Ова микробиолошка активност слична је ферментацији полисахарида у румену, али је по своме обиму знатно мања. Масне киселине настале у слепом цреву, бивају апсорбоване у порталну крв.

Присуство несварљивих угљених хидрата у оброцима непреживара, познатих под именом сирово влакна, веома је значајно са аспекта исхране. Капацитет несварених угљених хидрата за апсорпцију воде, повећава волуминозност химуса, који пролази кроз дигестивни тракт. Ово подстиче перисталтичку активност којом

се несварени остаци хране потискују кроз црева, а тиме повећава и механичко варење хране. Присуство ограничене количине силових влакана у оброчима непреживара је пожељно због њиховог капацитета за задржавање воде и утицаја на састав микрофлоре црева. Силовa влакна из пшеничних мекиња спречавају појаву затвора, до којег долази услед успореног пролаза хране кроз црева животиња.

3.2.3. МЕТАБОЛИЗАМ УГЉЕНИХ ХИДРАТА У ПРЕЖИВАРА

Најважнији угљени хидрати у храни преживара су: целулоза, хемицелулоза, скроб, фруктан и пектин. Хранива за преживаре садрже у сувој материји у просеку 20-30% целулозе, 14-20% хемицелулозе, до 10% пектина, и лигнина 2-12%. Највећи део растворљивих (шећери и скроб) и нерастворљивих угљених хидрата (целулоза и хемицелулоза) бивају ферментисани до испарљивих масних киселина, при доласку хране у румен. Ово се одвија деловањем ензима микроорганизама. Целулозу присутну у кабастим хранивима, веома ефикасно могу разграђивати микроорганизми у румену преживара. Смеша испарљивих масних киселина у течном садржају румена, састављена је, углавном, од сирћетне, пропионске и бутерне киселине. Присутне су и мале количине мравље, изобутерне, валеријанске, изовалеријанске и капронске киселине. Ове мале количине масних киселина са разгранатим ланцем, потичу од бактеријске разградње протеина.

Неки од гасова, као што су CH_4 (метан), CO_2 (угљен диоксид) и H_2 (водоник), представљају споредне производе ферментације у румену. Ови гасови се излучују из организма животиња путем подригивања. Мање количине храном унетих угљених хидрата и део њихових полимера у микроорганизмима, избегавају ферментацију у преджелуцима и доспевају у задње делове дигестивног тракта.

Испарљиве масне киселине (сирћетна, пропионска и бутерна) у румену, апсорбују се кроз зид румена и доспевају у крв, која их потом транспортује у различита телесна ткива. Метаболички процеси ових једињења одвијају се у телесним ткивима: катаболички процеси, којима се организам снабдева енергијом и биосинтетски процеси, као што је биосинтеза масти из сирћетне и бутерне киселине, или синтеза глукозе из пропионске киселине. Ензимски системи, неопходни за метаболизам испарљивих масних киселина, испољавају своју активност у ткивима преживара. Ово омогућава адаптацију животиња, допуштајући тако коришћење коначних производа микробиолошке активности.

Поред тога, од великог је значаја учешће ограничених количина глукозе у метаболичким процесима у ткивима преживара. Пошто највећи део глукозе хране бива разграђен у румену, преживари своје потребе у глукози обезбеђују биосинтезом, углавном из пропионске киселине и других једноставних једињења. Ограничене количине глукозе у организму преживара манифестују се њеним нивоом у крви: 40-70 mg/100 ml, док у крви непреживара садржај глукозе износи 100 mg/100 ml. Ниво глукозе у крви телади и јагњади, у периоду млечне исхране, достиже 100-120 mg/100 ml, пошто глукоза представља најважнији извор енергије у организму младих преживара пре њиховог залучења. Метаболизам угљених хидрата у ткивима младих преживара, има исти ток као у непреживара.

Микробиолошка разградња угљених хидрата у румену

Разградња угљених хидрата у румену преживара, до испарљивих масних киселина, може се поделити у две фазе: (1) екстрацелуларна хидролиза комплексних угљених хидрата (целулоза, хемицелулоза, пектин) иде у правцу олигосахарида са кратким ланцем, претежно дисахарида (целобиозе, малтозе,

ксилобиозе) и простих шећера. (2) олигосахариди и прости шећери су нестабилни на деловање микроорганизама румена, због чега их веома брзо усвајају и разграђују до испарљивих масних киселина, деловањем интрацелуларних ензима. Прво се моносахариди трансформишу до пирувата (соли пирогрођане киселине), затим од пирувата као почетне материје, метаболички процеси иду у правцу формирања сваке од испарљивих масних киселина (сирћетна, пропионска и бутерна).

Ферментативна разградња полисахарида

Велика предност преживара је њихова способност коришћења кабастих хранива богатих у целулози, активношћу микроорганизама румена, пошто сокови за варење непреживара не садрже ензим *целулазу*. Целулозу разграђују целулазе, ензими микроорганизама, до целобиозе, коју затим микроорганизми поново, помоћу *целобиазе*, разграђују до глукозе, или преко α -фосфорилазе до глукоза, 1-фосфата.

Хидролиза хемицелулозе одвија се претежно преко ослобађања дисахарида ксилобиозе, која се потом разграђује деловањем интрацелуларног ензима ксилобиазе до ксилозе. Поред тога, уронска киселина се добија као интермедијарни производ разградње хемицелулозе.

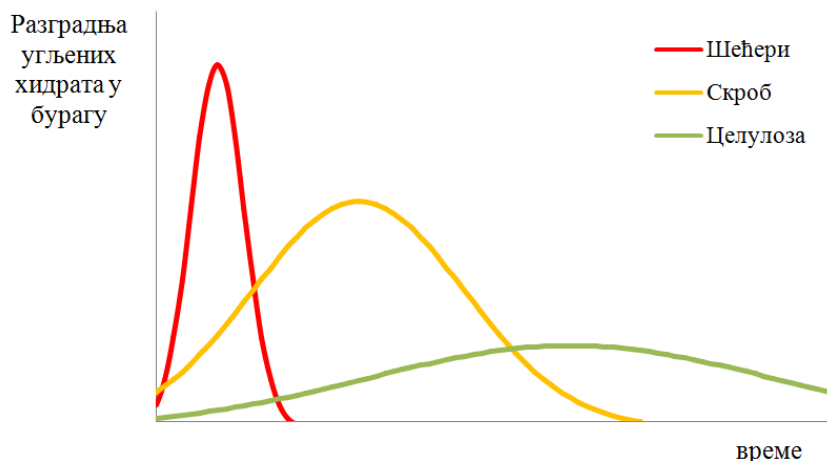
Уронске киселине се, такође, производе у румену преживара из пектина, који прво бива хидролизован до пектинске киселине и метанола. Затим, деловањем полигалактуроназе на пектинску киселину, ослобађа се галактуронска киселина. Даљи ток ферментације галактуронске киселине укључује формирање ксилозе. Пентозе, настале ферментативном разградњом хемицелулозе или пектина, трансформишу се у глукозу. Репини резанци садрже значајне количине пектина и представљају добар извор испарљивих масних киселина, када се користе у исхрани преживара.

У румену преживара, скроб се прво хидролизује деловањем амилазе микроорганизама до малтозе, а затим деловањем малтазе доводи до глукозе. Ензими микроорганизама деградирају скроб хране, на начин како то чине ензими моногастричних животиња. Разградња скроба зависи од његове физичке форме. Загревањем долази до разбијања кристалне структуре скроба из житарица. Ово у великој мери повећава каснију брзину хидролизе и ферментације. На брзину ферментације битно утиче и извор скроба. Скроб из кукуруза и сирка ферментише споро, те значајан део скроба неизмењен пролази у танка црева, док скроб пшенице и јечма ферментише брзо што омогућава интензивнији пораст микроорганизама бурага и већу синтезу микробијалног протеина, али и повећава ризик од претераног закисељавања садржаја бурага и појаве метаболичких обољења.

На слици 8 је упоредно приказана брзина разградње шећера, скроба и целулозе у бурагу. Јасно се види да се шећери најбрже разграђују, затим скроб, а да је за целулозу потребно значајно више времена.

Микробиолошка разградња простих шећера

Моносахариде глукозу, фруктозу и ксилозу, настале разградњом полисахарида, прво апсорбују микроорганизми из течног садржаја румена и интрацелуларно их разграђују (слика 9). Због тога је веома тешко откривање моносахарида, произведених у току прве фазе варења угљених хидрата. Ослобађање енергије одвија се у свакој од фаза разградње моносахарида, тј. трансформације шећера до пирогрођане киселине и касније формирање испарљивих масних киселина, доводи до стварања АТФ-а. АТФ служи као извор енергије за одржавање и пораст микроорганизама, а нарочито синтезу њихових протеина.



Слика 8. Брзина разградње шећера, скроба и целулозе у бурагу.

Механизам трансформације пирогрођане у испарљиве масне киселине.

Производња сирћетне киселине. Оксидација пирогрођане у сирћетну киселину, одвија се преко ацетил-СоА или ацетил фосфата и то као интермедијарна фаза.

Производња пропионске киселине. До сада су утврђена два пута за производњу пропионске киселине у румену. Први пут укључује фиксирање CO_2 на фосфоенолпируват, у циљу формирања оксалоацетата и редукцију преко малата и фумарата до сукцината, и коначно ослобађање CO_2 из сукцината. Трансформација ћилибарне киселине деловањем ензима микроорганизама, одвија се преко одређених интермедијарних форми.

Други пут, назван редуктивни или акрилатни, много је важнији у румену животиња, хранених оброцима богатим у зрну житарица. При томе, пирувати се редукују директно у пропионате, преко коензим А деривата лактата и акрилата. Лактати служе као супстрат за формирање пропионата, а настају у значајним количинама у румену, при исхрани преживара великим количинама зрнастих хранива.

Производња бутерне киселине. Као у случају пропионата, за формирање бутирата из ацетата, такође постоје два пута. Први пут је реверзибилна β -оксидација, док други пут конверзије ацетата укључује малонил-СоА (као синтеза масних киселина дугог ланца).

Апсорпција испарљивих масних киселина

Највећи део испарљивих масних киселина (око 75%) се апсорбује из ретикуло-румена у крв. Око 20% се апсорбује кроз абомазум и омазум, а само 5% одлази са дигестом у танка црева, одакле бивају апсорбоване у крв. Апсорпција испарљивих масних киселина је пасивна, а обим и брзина зависе од разлике између њихове концентрације у течном садржају румена и концентрације у епителним ћелијама и крви. Брзина којом се испарљиве масне киселине апсорбују из румена, расте са опадањем рН течног садржаја румена. Сматра се да недисосоване киселине пролазе брже кроз зид румена од анјона.

Мравља киселина настаје у румену, трансформацијом пирогрожђане киселине у ацетате. Смеша испарљивих масних киселина у румену, садржи око 1% мравље

киселине. Водоник се веома брзо користи од стране бактерија за производњу метана, који затим има улогу донора водоника у другим микробиолошким процесима редукције.

Производња метана, од стране микроорганизама, представља сложен биохемијски процес у коме учествује фолна киселина и витамин В₁₂. Производња метана у основи представља само губитак енергије за животињу. Због тога, у току последњих неколико година учињени су значајни напори у изналажењу метода за смањење производње метана и скретање тока енергије у правцу једињења која организам животиње може метаболисати. У том циљу препоручује се додавање оброку преживара незасићених масних киселина. Ове киселине затим постају засићене, деловањем микроорганизама. За ово је неопходно присуство водоника и ово представља добар метод за смањење количине формираног метана у румену и повећање количине пропионата.

Производња метана код преживара и његово ослобађање у животну средину су непожељни из више разлога. На овај начин се губи део енергије из хране који би могао бити искориштен за стварање меса или млека, а са друге стране, сматра се да накопљање метана у атмосфери доприноси ефекту стаклене баште и глобалном загревању. На овај начин, преживари доприносе једној од највећих опасности за будућност људске врсте на планети Земљи. Због тога се трага за начинима исхране који смањују производњу метана. Постоје и различити додаци храни за животиње, који донекле смањују производњу метана. То су хлороформ, хлорал хидрат и соли бакра. Међутим, ова хемијска једињења нису специфични инхибитори производње метана, али спречавају пораст микроорганизама. У данашње време у САД-у у ове сврхе се користе јонофори који припадају групи антибиотика, те су ова једињења забрањена у ЕУ, а и у нашој земљи. Ако производња гасова (CH₄, Н и CO₂) прелази способност еруктације, редовно долази до појаве надуна. Претерано велике количине слободних шећера у сочној паши, шећерној репи и њеним споредним производима, редовно носе потенцијалну могућност за појаву надуна, са фаталним коначним последицама.

Варење угљених хидрата у цревима преживара

Ферментација у румену је најважнији начин, којим преживари варе и искоришћавају угљене хидрате. Међутим, мањи део унетих угљених хидрата и целуларних полисахарида микроорганизама избегавају ферментацију у румену и долазе у задње делове дигестивног тракта. Угљени хидрати хране и бактерија, који нису разграђени у румену, чине 10-12% од укупне количине храном унетих угљених хидрата.

Полисахариди бактерија бивају изгубљени пре њиховог угињавања, под дејством киселог садржаја абомазума и подвргавања варењу у цревима. Количина целулозе или скроба, отпорних на разградњу у румену, зависе од природе хранива и њихове обраде. Око 20% скроба у зрну кукуруза, бива сварено у танким цревима под дејством ензима, као и у непреживара. Варење скроба у цревима омогућава ефикасније искоришћавање енергије, него при разградњи у румену. Ово због тога што су губици у метану или топлоти, до којих долази у румену током ферментације, избегнути.

Преостала целулоза, хемицелулоза и скроб, прелазе преко илеоцекалног залиска и бивају ферментисани у цекуму до испарљивих масних киселина, CO₂ и метана, на начин сличан ономе у румену. Испарљиве масне киселине, формиране у цекуму

преживара или коња, бивају апсорбоване у крв и искоришћене у ткивима, на исти начин као и киселине произведене у румену.

Хранљива вредност испарљивих масних киселина

Сирћетна, пропионска и бутерна киселина представљају најважније коначне производе метаболизма угљених хидрата у румену, а истовремено су и најважнији извор енергије и имају веома важне биосинтетске функције у преживара. Ефикасно уграђивање енергије у високо енергетско једињење АТФ, одвија се у току две фазе метаболизма испарљивих масних киселина: (1) у току микробиолошке трансформације глукозе у испарљиве масне киселине, и (2) оксидацијом апсорбованих масних киселина унутар ткива. Осим тога, испарљиве масне киселине апсорбоване у организму имају и неке друге биосинтетске функције: *сирћетна и бутерна киселина представљају полазне материје за биосинтезу телесне и млечне масти, а пропионска киселина за глукозу.*

Количина испарљивих масних киселина, произведених у румену у току 24 часа код крава износи 3-4 kg, а код оваца 300-400 g. Око 10% од ове количине производи се још у дебелом цреву и бива искоришћено од стране животиње. Количина испарљивих масних киселина у румену и релативно учешће три основне киселине веома варира. На ово утичу бројни фактори присутни у храни, као што су састав оброка, а нарочито однос кабастих и концентрованих хранива, физичка форма хранива (величина честица), ниво конзумирања и фреквенција храњења.

Количина и релативно учешће испарљивих масних киселина у румену, зависе од типа ферментације који се може одредити популацијом присутних микроорганизама, као директна последица исхране. Исхрана са оброцима богатим у скробу (велико учешће зрна житарица), изазива пораст производње пропионата, док се апсолутно иста количина ацетата производи, при исхрани преживара са оброцима богатим у зрнастим, као и са кабастим хранивима.

Међутим, однос сирћетне и пропионске киселине показује значајна варирања у зависности од хранидбеног третмана. Исхрана оброцима богатим у скробу, доводи до пораста броја амилолитичких микроорганизама који варе скроб и учешћа пропионске у односу на остале киселине (сирћетна, бутерна) присутне у румену. Хранидбени третмани, који стимулишу пораст удела пропионске у односу на сирћетну киселину, имају за последицу ефикасније искоришћавање хранива у производњи меса. Да би се ово остварило препоручује се употреба различитих адитива микробиолошког порекла. Насупрот овоме, оброци богати у кабастим хранивима (са високим садржајем целулозе), доводе до повећаног учешћа сирћетне у односу на пропионску киселину, које је у случају крава музара праћено порастом садржаја млечне масти. Млевање и пелетирање оброка, нарочито богатих у концентратима, изазива даље повећање учешћа пропионске киселине.

Поред три основне испарљиве масне киселине, течни садржај румена садржи и мале количине валеријанске, изовалеријанске, капронске, мравље и млечне киселине (табела 19). Мравља и млечна киселина подлежу даљој метаболичкој трансформацији у румену. Мравља киселина се трансформише у CO_2 и водоник, док млечна киселина може бити трансформисана у пропионску и бутерну.

Концентрација испарљивих масних киселина у румену регулише се равнотежом њихове производње и апсорпције. Концентрација киселина редовно расте након храњења, а затим рН опада. Ферментација у румену достиже свој максимум око 4 h након храњење оброком са сеном. При исхрани оброцима богатим концентратима, овај се максимум знатно брже постиже.

Табела 19. Утицај састава оброка крива музара на количину испарљивих масних киселина (Јовановић и сар., 2001).

Оброк	Масна киселина (моларни %)					
	Сирћетна	Пропионска	Бутерна	Валерија-нска	Изовале-ријанска	Капронска
90% концент. + 10% сламе	50,1	35,1	9,3	1,3	3,7	0,5
90% концент. + 10% сена	45,7	39,5	8,8	1,2	4,1	0,7
70% концент. + 30% сена	56,0	29,6	9,9	1,2	3,0	0,3
40% концент. + 60% сена	66,1	20,2	9,9	1,3	2,1	0,3

За осигурање максималног пораста микроорганизама, рН вредност треба одржавати између 6,0 и 7,0. Висок пуферни капацитет течног садржаја румена одржава се лучењем великих количина пљувачке и одстрањивањем испарљивих масних киселина њиховом апсорпцијом. Међутим, овај механизам за пуферовање рН у румену није довољан после исхране са већим количинама лако сварљивих угљених хидрата (шећер или скроб). Формирају се веће количине пропионске и бутерне киселине и значајне количине млечне киселине (која је јача киселина од пропионске), а потом опада рН на 4,5-5,0. Нижа вредност рН инхибира пораст целулолитичких бактерија и тада долази до депресије у варењу кабастих хранива, када се ова дају животињама са великим количинама концентрованих хранива. Да би се спречило или ублажило опадање рН вредности у исхрану се додају пуфери натријум бикарбонат и магнезијум оксид, као и пробиотски додаци – живе ћелије квасаца. Производња сувишних количина масних киселина, редовно доводи до оштећења мукозе румена.

Метаболизам испарљивих масних киселина у телесним ткивима

Испарљиве масне киселине, апсорбоване из ретикулорумена, долазе до телесних ткива где подлежу оксидацији и обезбеђују енергију за потребе организма или служе за биосинтезу масти или глукозе. Релативна количина сваке киселине, употребљене за ове функције, показује одређена варирања. Око 50% сирћетне киселине, присутне у телесним ткивима музних краве, бива оксидисано. За разлику од сирћетне, око 2/3 пропионске киселине подлеже оксидацији. Метаболизам пропионске и бутерне киселине одвија се у јетри. Међутим, 60% сирћетне киселине се метаболише у периферним ткивима (мишићима и адипозном ткиву), а само 20% у јетри. У животиња у лактацији, сирћетна киселина служи за синтезу масти у млечној жлезди.

Пропионска киселина. За оксидацију пропионске киселине постоје два пута: (1) оксидација након претварања у глукозу, и (2) директна оксидација пропионске киселине. Механизам трансформације пропионске киселине у глукозу, путем глуконеогенезе, такође се користи када глукоза служи за друге сврхе, а не као извор енергије. Ензим који катализује трансформацију метилмалонил-СоА у сукцинил-СоА, захтева присуство витамина В₁₂, кога синтетизују микроорганизми румена. Пошто је овај витамин битан за глуконеогенезу, преживари су нарочито осетљиви на недостатак кобалта. Јетра преживара садржи високо активне ензиме, неопходне за конверзију оксалосирћетне у фосфоенол пирогрођану киселину, а затим ову

претварају у глукозу. Пут који води од фосфоенолпирогрођане киселине до глукозе, супротан је гликолизи. Принос АТР-а који се добија оксидацијом пропионске киселине у глукозу, износи 117 mol АТР/mol пропионске киселине.

Пут за директну оксидацију пропионске киселине је исти као и за њену оксидацију преко глукозе.

Бутерна киселина. Бутерна киселина, формирана у румену, готово у потпуности се трансформише у β -хидроксibuтират, при пролазу кроз зид румена. Даље реакције везане за производњу енергије које се одвијају, углавном, у мишићним ткивима, су дехидрогенација хидроксibuтирата до ацетоацетата и његово цепање на 2 мола ацетил-СоА, који се на крају потпуно оксидише преко циклуса трикарбонских киселина.

Сирћетна киселина. Сирћетна киселина се прво трансформише у ацетил-СоА коришћењем две фосфорне везе богате у енергији. Затим се ацетил-СоА, оксидише преко циклуса трикарбонских киселина, дајући 12 АТР/mol ацетата. Због тога, нето принос износи 10 АТР/mol оксидисаних ацетата.

Метаболизам глукозе у преживара

Највећи део угљених хидрата унетих храном бива ферментисан у ретикулорумену. Формиране испарљиве масне киселине представљају најважнији извор енергије у организму преживара. Насупрот њима, у непреживара ову функцију има глукоза. Но, и глукоза учествује у организму преживара у веома важним метаболичким процесима. Међутим, мала количина глукозе, апсорбоване из црева преживара, недовољна је и преовлађује количина глукозе која је произведена у њиховим ткивима у току биосинтезе (глюконеогенезе), углавном у јетри, а у мањој мери у бубрезима.

Од укупне количине глукозе присутне у организму преживара, 40-60% потиче из пропионске киселине, око 20% из протеина (аминокиселине апсорбоване из дигестивног тракта), а остатак из разгранатих испарљивих масних киселина, млечне киселине и глицерола. Глюконеогенеза је од изузетног значаја у преживара. Различити ензими, неопходни за глюконеогенезу, присутни су у великим количинама у јетри, нарочито они потребни за трансформацију пропионске киселине у глукозу. Ове ензимске активности веома су малог обима у јетри младунаца у време млечне исхране који трансформишу своју храну исто као и непреживари. Ензимска активност се повећава у току залучивања.

Глукоза има бројне функције у организму преживара. Међу овима су најважније:

- мада мањег значаја као извор енергије у организму преживара, глукоза представља главни извор енергије за нервни систем, нарочито у мозгу, а такође, и црвеним крвним зрнцима;

- глукоза је неопходна за метаболизам мишића и производњу гликогена, који служи као депо енергије у мишићима и јетри;

- у току лактације повећавају се потребе у глюкози која се биосинтетски формира, као и при крају бременитости. Глукоза је главни прекурсор лактозе и глицерола и служи за снабдевање фетуса са хранљивим материјама.

Количина глукозе, неопходне за животиње у лактацији и бремените животиње знатно је изнад потреба непродуктивних животиња. Најчешћи пут трансформације глукозе у масне киселине дугог ланца, присутан у непреживара, у случају преживара готово и не постоји. Преживари поседују механизам за веома економично искоришћавање глукозе, пошто немају ензиме у ткивима, који у организму непреживара врше трансформацију глукозе у масне киселине дугог ланца.

Сирова влакна као извор енергије

Са изузетком семена уљарица, из већине других биљака енергија је пореклом из доступних угљених хидрата. То практично значи да животиње само мали део својих потреба у енергији обезбеђују из масти хране. Угљени хидрати су присутни у биљкама у форми моно-, ди-, олиго- и полисахарида, укључујући скроб и смешу других комплексних угљених хидрата попут хемицелулозе и целулозе. Код преживара велика популација микроорганизама насељава румен, која садржи сојеве који производе ензиме који имају способност хидролизе хемицелулозе и целулозе присутне у зидовима ћелија биљака, нарочито оне везане за део листа и стабла биљака и спољашни слој семена. Непреживари, укључујући коње и свиње су способни да користе неке од ових фиброзовних хранива, посредством сличних микроорганизама који су присутни у колону и цекуму.

Амерички истраживач *Van Soest* је сва влакна хране поделио у зависности од њиховог типа и извора. Према његовом поступку сува материја из кабастих хранива, се може поделити у две фракције на основу њихове доступности животињама. Прва фракција представља *садржај ћелија* и састављена је из лако сварљивих угљених хидрата, масти и протеина. Ова фракција је, углавном, доступна животињама. Другу фракцију чине *зидови ћелија* и може се дефинисати као укупна влакна. У погледу доступности ова фракција показује значајна колебања између појединих хранива пре свега због међусобне повезаности лигнина, хемицелулозе и целулозе. За издвајање ових једињења, у зависности од њихове доступности, *Van Soest* је успео да изолује ћелијске зидове биљака, а затим из њих да издвоји лигнин, целулозу и хемицелулозу. Хемицелулоза и целулоза су доступни преживарима, пре свега због присутних микроорганизама у њиховом румену.

Према *Van Soest*-овом поступку, *зидови ћелија* или *неутрална детерџентска влакна* (NDF, *eng. Neutral Detergent Fibre*), представљају остатак после екстракције са раствором неутралног детерџента и ова фракција се углавном састоји од лигнина, целулозе и хемицелулозе. Овај поступак одређивање NDF-а је првобитно намењен за кабаста хранива, али се може користити и за хранива која садрже скроб, при чему се врши третирање са амилазом. Целулоза, хемицелулоза (полимер хексоза и пентоза) и лигнин (високо нерастворљива и биолошки недоступна смеша полимера фенолне киселине) присутни су у спољашњим слојевима зрна житарица, стабљикама вегетативних делова трава и легуминоза. Ове материје присутне су, такође, у дрвенастом делу дрвећа и жбуња. У дрвећу, лигнин представља главну структурну материју. Једини живи организми који стварају ензиме који могу разграђивати лигнин су термити.

Кисела детерџентска влакна (ADF, *eng. Acid Detergent Fibre*) представљају остатак након третирања узорка хранива киселим детерџентом, и представља претежно фракције сирове целулозе и лигнина у биљном материјалу, а укључује и силицијум диоксид. Одређивање садржаја ADF-а од посебног је значаја за кабаста хранива због постојања јаке узајамне везе између садржаја ове фракције и сварљивости хране.

Van Soest-ов метод за оцену, пре свега, кабастих хранива постао је стандард, односно индекс хранљиве енергетске вредности хранива за животиње које конзумирају оброке са високим садржајем биљних влакана. *Van Soest*-ов метод ће још детаљније бити разматран у каснијим поглављима ове књиге.

3.2.4. ПОРЕМЕЋАЈИ У МЕТАБОЛИЗМУ УГЉЕНИХ ХИДРАТА

Од великог броја проблема, који се срећу при поремећају метаболизма у животиња, *дијабетес* и *кетоза* се односе у потпуности на метаболизам угљених хидрата. Мада се дијабетес јавља у животиња, још увек нема довољно информација за квантификовање његовог општег значаја. Насупрот овом, кетоза представља знатно већи проблем у животиња.

Недостатак специфичних ензима *дисахаридаза* у гастроинтестиналном тракту, доводи до серије гастроинтестиналних поремећаја. Младунци сисара, храњени великим количинама сахарозе, испољавају јаку дијареју, а до угинућа може доћи услед недостатка *сахаразе* у току првих неколико недеља живота. Преживари не производе сахаразу. Исхрана младунаца у периоду млечне исхране са значајним количинама сахарозе има за последицу јак пролив. Поред тога, у преживара постоји испољена тенденција нижих нивоа ензима који цепају скроб, него што је то случај у непреживара. Ако се одрасле свиње хране лактозом, може доћи до развоја дијареје услед недостатка *лактазе*.

У одсуству обољења, као што је то инфективна дијареја или друга патолошка стања, која утичу на апсорпцију, апсорпција растворљивих угљених хидрата често пута прелази 90%. Ендогени губици имају за последицу да нето (привидна) апсорптивност у просеку износи 80% или више у непреживара. Због тога, изузев у случајевима недостатка ензима за варење или смањене апсорптивне функције, апсорпција је слична за велики број различитих извора угљених хидрата.

Кетоза

Синдром овог обољења укључује вишак кетона (ацетон, ацетоацетат, β -хидроксипутират) који се акумулира у телесним ткивима због поремећаја у метаболизму угљених хидрата или масти. Повећана концентрација кетонских тела у крви животиња назива се *кетонемија* или *ацетонемија*. Ако су нивои кетонских тела довољно високи да дође до излучивања урином, овакво стање назива се *кетонурија*. Обољење је распрострањено у крава у време максималне лактације и у оваца при крају гравидитета. Ово се карактерише хипогликемијом, исцрпљеношћу гликогена из јетре, повећаном мобилизацијом липида из адипозног ткива, повећаном производњом кетона и присуством липемије. Ове промене у метаболизму енергије личе на дијабетес мелитус у људи и животиња.

Повећано искоришћавање енергије доводи до пораста разградње телесних протеина за енергију, губитка телесне масе, опадања производње млека у животиња у лактацији и абортуса у гравидних животиња. Конзумирање воде је повећано услед сувишног губитка телесних течности урином, као реакција на кетонурију. Присуство кетонских тела у урину праћено је сувишним губитком електролита (јона К и Na). Ово подстиче дехидратацију ткива и изазива повећано узимање воде.

Пошто се апсорбују ограничене количине глукозе из гастроинтестиналног тракта преживара, синтеза глукозе у јетри представља најважнији извор за одржавање нивоа глукозе у крви и гликогена у ткивима. Због тога, у току периода великих физиолошких захтева за глукозом, као што је то у време лактације или гравидитета, кетоза постаје озбиљан практичан проблем у преживара. Негативан биланс енергије и преоптерећен метаболизам масти изазивају кетозу у крава музара. Има доказа да додавање ниацина може превенирати или ублажити кетозу у крава. У сјагњених оваца кетоза је делимично убрзана смањеним конзумирањем хране, до кога долази

због смањеног капацитета желуца, као последица повећане величине утеруса, а нарочито када је у питању већи број фетуса.

Кетоза се, такође, јавља и у свиња и других врста непреживара, у току гладовања или хроничне потхрањености, често на почетку неочекиваног новог захтева у енергији, као што је то случај на почетку лактације. Превенција кетозе подразумева снабдевање животиња довољним количинама енергије, као и материја које су неопходне за ефикасан метаболизам енергије. Важно је да животиње конзумирају велике количине хране, да је храна добре сварљивости и богата енергијом, а код преживара од нарочите користи може бити додаток неразградивог скроба, пропилен гликола, калцијум пропионата и ниацина. Третирање кетозе обично је усмерено у правцу повратка нормалне концентрације глукозе у крви оболелих животиња. Због тога, интравенске инјекције глукозе уобичајена су пракса. Хормони, као што су аденокортикотропни хормон (АСТН) и адреналин кортикоидни хормони, такође су коришћени у том циљу.

Дијабетес мелитус

Болест се делимично дијагностикује на основу вишег нивоа него што је нормалан ниво глукозе у крви животиња које гладују. У основи ово није једноставно обољење, већ представља читав спектар клиничких поремећаја, од којих сувишна количина глукозе у крви животиња (хипергликемија) представља заједнички именитељ. Постоје три основна типа дијабетеса: *дијабетес мелитус*, који зависи од инсулина (IDDM), познат под именом *младеначки почетак* или тип I дијабетеса; дијабетес који није завистан од инсулина (NIDDM), познат и као *почетак одраслих* или тип II дијабетеса. Трећи тип овог обољења је *дијабетес гравидитета*. Заједнички метаболички недостатак сваког од ова три типа обољења је неодговарајућа производња или искоришћавање хормона инсулина, кога производи панкреас. Инсулин делује на ћелије читавог организма животиње и подстиче боље коришћење глукозе. Такође, повећава и синтезу протеина, смањује катаболизам протеина, повећава улазак аминокиселина у ћелије, стимулише формирање триглицерида, а инхибира њихову разградњу. Све ове метаболичке активности инсулина изражавају његов утицај на пропустљивост ћелијских мембрана. Ово доводи до повећаног уласка глукозе, аминокиселина и масних киселина у многа телесна ткива, укључујући нарочито мишиће и адипозно ткиво.

Зато што је инсулин потребан за нормално искоришћавање глукозе, његово одсуство има за последицу појаву хипергликемије, губитак глукозе урином (глукозурија) и друге промене. Животиње склоне појави дијабетеса испољавају смањену толеранцију на глукозу. Благи случајеви дијабетеса могу се делимично контролисати исхраном сиромашном у угљеним хидратима, а богатом у протеинима. Метаболизам протеина и аминокиселина, као и угљених хидрата и липида се мења у одсуству инсулина. Дефицит у инсулину доводи до веома израженог негативног биланса азота, губитка глукозе урином, сувишне количине урина (полиурија) и губитка електролита, а што је у вези са хипогликемијом и кетонемијом.

Поред инсулина за метаболизам угљених хидрата важни су и други хормони које лучи панкреас. Тако, нпр. *глукагон*, полипептидни хормон, кога производе алфа ћелије панкреаса, а и неке ћелије желуца и дуоденума, катаболички је хормон који смањује угљенохидратне и масне депое енергије, а повећава количину доступне глукозе и масних киселина за оксидацију. Глукагон стимулише и секрецију инсулина. *Соматостатин* је пептид кога луче делта ћелије панкреаса, задњег дела

гастроинтестиналног тракта и хипоталамус. Његов ендокрини утицај укључује инхибицију секреције инсулина, глюкагона, соматотропина (хормона пораста) и неколико других хормона. Он такође, инхибира желудачну секрецију, пуњење желуца, контракције жучне кесе и ослобађање панкреасног ензима.

3.3. МАСТИ

Масти или липиди су органска једињења присутна у биљним и животињским ткивима. По својој природи масти су супстанце растворљиве у органским растварачима (бензол, етар, хлороформ), али слабо растворљиве у води. Основна карактеристика масти је њихова висока енергетска вредност. Један g масти, при потпуном сагоревању даје око 9,45 kcal топлоте. За разлику од њих, један g угљених хидрата потпуним сагоревањем ослобађа око 4,1 kcal. Масти, као и угљени хидрати, садрже три биогена елемента: угљеник, водоник и кисеоник.

Међусобно се разликују по тачки топљења, те се деле на масти и уља. Масти су чврсте на собној температури, док су уља течна. У храни за животиње масти и уља имају функцију сличну угљеним хидратима: служе као извор телесне топлоте и енергије, као и за формирање телесних масти. Због већег учешћа угљеника и водоника, оксидацијом масти и уља, ослобађа се већа количина енергије него код угљених хидрата.

Масти су у исхрани животиња уобичајно заступљене у малим уделима, најчешће 3 до 5% од суве материје. Већи проценти масти се користе у исхрани животиња са повећаним енергетским потребама. Одређена количина масти у оброку животиња је увек неопходна, пошто масти служе као носачи витамина растворљивих у мастима. На срећу, уобичајени оброци животиња најчешће садрже довољне количине масти.

Подела масти

Масти се најчешће деле у три основне групе: (1) *просте масти*, (2) *сложене масти* и (3) *деривати масти* (табела 20). При естерификацији масних киселина са алкохолима добијају се просте масти. Ако се једињењима, као што су холин или серин додају масне киселина, добијају се сложени липиди. Трећи тип липида, деривати масти, добијају се хидролизом или ензимском разградњом простих или сложених липида.

Функције масти

Функције масти се могу сврстати у следеће 4 групе:

(1) обезбеђују енергију за нормално одржавање и производне функције животиња

Хидролизом триглицерида (триацилглицерола) добија се глицерол и масне киселине, које служе као концентровани извори енергије. Највећи део разлика између различитих извора масти, у садржају искористиве енергије, везан је за њихову сварљивост, изузев у посебним условима недовољне апсорпције. Права сварљивост масти прелази 80%. Када је укупан садржај липида у храни низак, као што је то случај при исхрани животиња искључиво биљном храном, привидна сварљивост може бити много мања од претходне вредности, пошто је веће учешће метаболичке масти у фецесу, на оброцима сиромашним у мастима. На праву сварљивост, међутим, обично нема утицаја средњи ниво масти у оброку. Велико учешће воскова и стерола у оброку, утиче на смањење апсорпције липида, пошто су ово компоненте оброка мале сварљивости и апсорпције.

Табела 20. Подела липида (Ensminger и сар., 1990).

Тип липида	Пример	Хемизам	Опште напомене
Прости липиди			
Неутралне масти	Триглицериди (триацил глицероли)	Естри масних киселина са глицеролом; Однос: 3 масне киселине : 1 глицерол	Најобилнији липиди у природи; триглицериди (у којима најмање 2 масне киселине су различите) чине 98% од масти у хранивима и преко 90% масти у телу. Важнији за комерцијалне сврхе него за исхрану животиња; широко распрострањен у кутикули лишћа и воћу.
Воскови	Пчелињи восак Биљни восак	Естри МК киселина са алкохолима високе молекулске масе, различитим од глицерола. Естри холестерола, витамина А и D	
Сложени липиди			
Фосфолипиди	Лецитини Кефалини Липозитоли	Једињења неутралне масти, H_3PO_4 и азотне базе (холин, етаноламин или серин); у води растворљиви.	Лецитини су највећа група фосфолипиди. Лецитин се може добити из жуманцета јајета или зрна соје.
Гликолипиди	Цереброзиди Ганглиозиди	Шећер (угљени хидрат) који садржи масне киселине + азот.	Шећер може бити глукоза или галактоза; присутан у нервном ткиву; компонента ћелијске мембране.
Липопротеини	Хиломикрони ниске (LDL), врло ниске густине (VLDL) и високе густине липопротеина (HDL)	Сви садрже протеин, триглицериде и холестерол, у различитим количинама.	Липопротеини синтетизовани у јетри, начин транспорта липида у крви.
Деривати масти			
Масне киселине (МК)	Палмитинска Олеинска Стеаринска Линолна	Обично имају 1 COOH групу, могу бити засићене или незасићене садржи 1 или више дуплих веза.	У већини случајева постоји паран број C атома у МК, које се природно појављују. У природи је мало МК са непарним бројем C атома
Стероиди	холестерол ергостерол кортизол, киселине жучи, витамин D, андрогени, естрогени, прогестерон	Деривати перхидроциклопентан-0-пенантрен нуклеус (хемијска структура је серија прстенова)	Једна од најиспитиванијих група липида. Многи од ових су заједнички означени као стероидни хормони - хормони надбубрежне жлезде, тестиса и оварија.
Угљоводоници	Терпени	Једињења само водоника и угљеника.	Укључују уља (камфор), резин (смола) киселине, биљ пигменте. β -каротин је значајан терпен.

Укупна количина енергије у оброку, изузев енергије у есенцијалним масним киселинама, код већине врста животиња се углавном може обезбедити из угљених хидрата. Због тога још увек не постоје тачно дефинисане хранидбене потребе животиња у мастима, изузев за есенцијалне масне киселине (*esencial fat acids*, EFA) присутне у храни као и њихова улога растварача витамина растворљивих у мастима. Животиње храњене оброцима без масти, могу испољити дефицит у липосолубилним витаминима.

(2) служе као извор есенцијалних масних киселина

Поуздано је доказано да линолна (C18:2) и линолеинска киселина (C18:3) не могу бити синтетизоване од стране животињских ткива, или барем не у довољним количинама за превенирање патолошких промена. То практично значи да ове масне киселине морају бити обезбеђене храном. Арахидонска киселина (C20:4) може бити синтетизована из линолне и зато је потребна у оброку само ако линолна није доступна животињи. Такође је доказано да есенцијалне масне киселине представљају интегрални део протеинско-липидних структура ћелијских мембрана и да играју важну улогу у саставу неколико једињења, познатих под именом *саноиди*, веома значајних у регулисању ослобађања хормона хипоталамуса и хипофизе. *Еикосаноиди* укључују тромбоксан, леукотриене и простагландине (хормонима слична једињења, широко распрострањена у репродуктивним органима и другим телесним ткивима). Простагландини се биосинтетишу из арахидонске киселине и имају бројне метаболичке утицаје, укључујући следеће: нижи крвни притисак, стимулишу контракције глатке мускулатуре, инхибирање норепинефрина (хормона надбубрежне жлезде) који изазива ослобађање масних киселина из адипозног и неких других ткива.

Дерматитис и други поремећаји, знаци су дефицита у одређеним масним киселинама у организму непреживара. Као последице дефицита у есенцијалним масним киселинама јављају се следећи симптоми: крастава кожа и некроза репа, успорен пораст, репродуктивне сметње, као и појава едема, субкутаних хеморагија и лоше оперјавање пилића. Још нема поузданих доказа о појави дефицита есенцијалних масних киселина у одраслих преживара.

(3) служе као носач витамина растворљивих у мастима

Апсорпција липосолубилних витамина (А, D, Е и К) је функција варења и апсорпције масти. Витамини растворљиви у мастима су дисперговани у мицелама сличним или истим онима формираним у току апсорпције масних киселина. Помешане мицеле које садрже моноглицериде и слободне масне киселине, преузимају липосолубилне витамине ефикасније од мицела које ове не садрже. Искључивање жучне киселине, холестерина, изазива смањење апсорпције витамина К, када је овај додат храни животиња. Пошто је потребан веома мали ниво масти у храни за формирање мицела, појава изразитог дефицита витамина А, D, Е или К, под нормалним условима исхране, није вероватна.

(4) служе као интегрална компонента ћелијских мембрана

Карактеристике масти

Масне киселине су основне компоненте масти. Због присуства карбоксилне групе (COOH) оне се називају карбоксилним киселинама. Степен њихове засићености и дужина угљениковог ланца, одређују многе од физичких

карактеристика масти. Због разноврсности масних киселина, које могу бити везане са глицеролом, у природи постоје бројни триглицериди. Својства масних киселина зависе од њихових хемијских карактеристика (табела 21).

Табела 21. Хемизам масних киселина (Ensminger и сар., 1990).

Назив	Структурна формула	Дужина ланца	Тачка топљења	Извор
Засићене		Број С атома	°C	
Сирћетна	CH_3CHOON	2	-	Сирће
Пропионска	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COON}$	3	-	Млечни производи
Бутерна	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COON}$	4	- 7	Бутер од кокоса
Капронска	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COON}$	6	- 8	Бутер од кокоса
Каприлна	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COON}$	8	16	Бутер од кокоса
Капринска	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COON}$	10	31	Бутер од кокоса
Лауринска	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COON}$	12	44	Бутер од кокоса
Миристинска	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COON}$	14	54	Бутер од кокоса, уље кита
Палмитинска	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COON}$	16	63	Палма, говеђи лој, бутер, свињска маст, памук. уље
Стеаринска	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COON}$	18	70	Гов. лој, бутер, свињска маст
Арахидинска	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COON}$	20	76	Кикирики уље
Лигноцеринска	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COON}$	24	86	Буков катран
Мононезасићене				
Палмитоолеинска	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COON}$	16	-	Рибље уље харинге, кокош, говеђи лој
Олеинска	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COON}$	18	13	Палмино уље, уље, кикирикија, јаја
Полинезасићене				
Линолна	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COON}$	18	- 5	Сојино и уље од кукуруза
Линолеинска	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COON}$	18	- 11	Ланено и сојино уље
Арахидонска	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{COON}$	20	- 50	Јетра, јаје

3.3.1. КЛАСИФИКАЦИЈА И СВОЈСТВА МАСТИ

ПРОСТЕ МАСТИ (ТРИГЛИЦЕРИДИ)

Триглицериди (триацилглицероли) представљају комбинацију једног молекула глицерола и 3 молекула масних киселина и чине око 98% масти у храни и преко 90% масти у организму животиње. Преостали део масти у храни и организму животиње састоји се, углавном, од фосфолипида и холестерола.

Дужина ланца и степен незасићености масних киселина (табела 22), које улазе у састав триглицерида, одређују њихова физичка и хемијска својства. Већина расположивих информација о триглицеридима односи се на учешће масних киселина у мастима. Ови подаци су од значаја, али не откривају положај појединих масних киселина на делу глицерола, што је од несумњивог значаја за апсорпцију и искоришћавање масти. Многе масти хране имају 10 или више различитих масних киселина. Због тога, број потенцијалних индивидуалних триглицерида постаје огроман. Нпр. млечна маст садржи масне киселине кратког и дугог ланца, као и засићене и незасићене масне киселине, тако да је број различитих триглицерида у млеку веома велики. Исти је случај и са другим мастима.

Табела 22. Масне киселине најчешће присутне у биљним и животињским ткивима (Јовановић и сар., 2001).

Масна киселина	Број С атома	Број двоструких веза	Скраћена ознака
Бутерна	4	0	C4:0
Капронска	6	0	C6:0
Каприлна	8	0	C8:0
Капринска	10	0	C10:0
Лауринска	12	0	C12:0
Миристинска	14	0	C14:0
Палмитинска	16	0	C16:0
Палмитолеинска	16	1	C16:1
Стеаринска	18	0	C18:0
Олеинска	18	1	C18:1
Линолна	18	2	C18:2
Линоленска	18	3	C18:3
Арахидна	20	0	C20:0
Арахидонска	20	4	C20:4
Лигноцеринска	24	0	C24:0

Састав масних киселина у триглицеридима је различит. Прости триглицериди, изграђени од засићених масних киселина, који садрже 10 или више угљеникових атома, чврсти су на собној температури, док су они са мање од 10 угљеникових атома, обично течни. Триглицериди који садрже само засићене масне киселине дугог ланца, су чврсти, док они који садрже претежно незасићене масне киселине су течни.

Степен засићености и дужина угљениковог ланца масних киселина, одређују многе од физичких карактеристика липида. Својства масних киселина зависе од њихових хемијских карактеристика као што су:

Засићеност. Засићеност означава међусобни однос атома водоника и угљеника. Масна киселина се састоји од низа С атома везаних хемијским везама. Када једна проста веза спаја сваки пар С атома, у том случају атоми С у ланцу имају 2 атома Н,

везаних за њих, док С атоми, на крају ланца, имају 3 атома Н. Када су С атоми везани двоструким везама, С атоми унутар ланца способни су да вежу само 1 Н атом. Дакле, засићене масне киселине садрже све могуће Н атоме, и немају двоструку везу између С атома. Незасићене масне киселине које садрже барем једну двоструку везу унутар угљениковог ланца су мононезасићене, а оне са две или више двоструких веза унутар угљениковог ланца се називају полинезасићене.

Хидрогенација (очвршћавање). Овим процесом двострукој вези незасићених масних киселина се додаје водоник. Ово се остварује у атмосфери водоника, у присуству металних катализатора, најчешће никла. Додавање водоника повећава температуру топљења самих масти и као последица хидрогенације се добијају тврђе масти. Многа биљна уља трансформишу се у тврде или полутврде форме за употребу у јестивим мастима и маргаринима. Хидрогенација је позната и под именом очвршћавање. Такође, као последица се јавља делимична трансформација *цис* двоструке везе у *транс* и настајање *транс масних киселина* (ТФА). *Транс* форма есенцијалних масних киселина значи да ова не функционише као есенцијална масна киселина у организму. Истраживачи су утврдили да *транс* масне киселине нису тако ефикасне као њихови *цис* аналози у смањењу садржаја холестерола у крви, чак да масти богате *транс* масним киселинама подстичу артеросклерозу и настанак срчаних обољења. Овај процес се одвија и у румену преживара, као последица микробиолошке активности. Хидрогенацијом се врши конверзија у природи присутних *цис* у *транс* масне киселине. Начин исхране животиња утиче на формирање *транс* масних киселина. Органски узгој крава значајно повећава садржај ТФА у млеку, у односу на традиционалан начин узгоја. Такође се примећује пораст количине ТФА током летњих месеци. Ово се објашњава повећаним уносом свеже траве са пашњака која је богата полинезасићеним масним киселинама. Садржај *транс* масних киселина обично расте са обимом хидрогенације биљних уља. Тако, нпр. тврдо биљно уље у форми маргарина, може садржати од 24 до 35% *транс* киселина, док мало хидрогенизована течна биљна уља обично садрже 5% или мање ових киселина.

Дужина угљениковог ланца. Други променљиви фактор у изградњи молекула масне киселине је број угљеникових атома. Масне киселине са кратким ланцима су оне које садрже 6 атома угљеника или мање, са средњим ланцима када имају 8-10 угљеникових атома, и са дугим ланцима са 12 и више угљеникових атома. У исто време, степен засићености и дужина угљениковог ланца утичу на тачку топљења масти. Масне киселине са кратким ланцем испољавају тенденцију већег испаравања, те се сирћетна, пропионска и бутерна киселина заједнички називају *испарљиве масне киселине* (ИМК или VFA). Порастом дужине ланца, долази до умереног пораста тачке топљења, док са порастом броја двоструких веза, опада тачка топљења.

Емулговање. Масти (уља) и вода се у основи не мешају, мада би то често било веома пожељно. Због тога, масти су често пута емулговане. Капи масти и уља веома мале величине равномерно су распоређене у читавом раствору на бази воде. Емулзије су битне за варење, апсорпцију и транспорт масти у организму животиње. Емулзивна средства, коришћена за стварање емулзија, укључују материје сличне мастима и супстанце добијене из масти, као што су моноглицериди (глицерол са једном масном киселином), диглицериди (глицерол са две масне киселине), лецитин и жучне соли. Триглицериди, такође, подлежу хидролизи под утицајем ензима липазе, који лучи панкреас у танка црева. Липазе, такође, производе бактерије и плесни.

Састав масти у животињском организму зависи од врсте животиње и показује одређена варирања у различитим ткивима животиња. На састав масти у одређеној мери утиче и састав оброка. Масти биљака, риба и птица имају већи степен незасићености од масти сисара. Нпр. субкутана маст садржи више засићених масних киселина од масти јетре исте врсте сисара. Масти у организму преживара, а нарочито лој, високо су засићене. Ово је због тога што се у румену преживара одвија значајна *хидрогенација незасићених масти* хране. Млечна маст преживара садржи значајан проценат масних киселина са кратким ланцем (2-8 C атома). Због тога, млечна маст је знатно мекша од телесних масти ових животиња. Липиди преживара садрже мале количине непарних и разгранатих масних киселина, које представљају производе микробиолошке активности.

Есенцијалне масне киселине

Есенцијалне масне киселине су оне које се не могу синтетизовати у организму или се синтетишу у оној количини која није довољна за подмиривање потреба животиња. Првобитно су есенцијалним масним киселинама сматране линолна ($C_{18}H_{32}O_2$), линолеинска ($C_{18}H_{30}O_2$) и арахидонска ($C_{20}H_{32}O_2$). Оне су неопходне пилићима, теладима и козама. У уобичајеним оброцима животиња, дефицит у есенцијалним масним киселинама ретко се јавља. Сувишне количине ових материја, такође, нису пожељне због осетљивости и подложности полинезасићених киселина на оксидације. Претпоставља се да постоје две основне функције есенцијалних масних киселина: служе као прекурсори простагландина и као структурне компоненте ћелија. Данас се есенцијалним масним киселинама сматрају првенствено линолна и линолеинска киселина и од изузетног је значаја да су у хранивима оне заступљене у што већој мери. Комплетан садржај масних киселина у најзначајнијим хранивима је приказан у табели 23. Из табеле се може уочити изузетно добар однос полинезасићених масних киселина у најзначајнијим хранивима нашег поднебља: соја, уљана репица, сунцокрет и кукуруз.

Експериментално је утврђено да потпуно отклањање масти из оброка пацова доводи до успореног пораста и појаве лезија (озледа) на кожи. Ови се симптоми веома ефикасно могу елиминисати уношењем у оброк малих количина есенцијалних масних киселина. Арахидонска киселина формира се у јетри сисара и живине из линолне киселине и зато је неопходна у храни само ако линолна киселина није доступна. Као и друге полинезасићене масне киселине, арахидонска формира део структурних липида ћелијских мембрана, а такође служи и као изворна материја за биосинтезу простагландина и тромбоксана, хормонима сличних супстанци које регулишу многе функције, а нарочито у репродуктивним органима животиња.

Линолна и линолеинска киселина су нормално присутне у већој концентрацији у фосфолипидима централног и периферног нервног система, те се сматра да играју виталну улогу у овима.

Табела 23. Садржај масних киселина присутних у биљним уљима (процентуални удео у укупној количини уља) (Грбеша, 2004).

Киселина	Број С атома	Соја	Уљана репица	Сунцокрет	Палма	Маслина	Кукуруз
Лауринска	C:12	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Миристинска	C:14	0,1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
Палмитинска	C:16	10,3	4,0	5,4	43,5	11,0	10,9
Палмитолеинска	C16:1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,8	0,0
Стеаринска	C:18	3,8	1,8	3,5	4,3	2,2	1,8
Олеинска	C18:1	22,8	56,1	45,3	36,6	72,5	24,2
Линолна	C18:2	51,0	20,3	39,8	9,1	7,9	59,0
Линоленска	C18:3	7,4	9,3	0,2	0,2	0,6	0,7
Арахидонска	C20:4	0,2	3,6	0,0	0,1	0,3	0,0
Σ засићених		15,1	7,4	10,6	51,6	14,1	13,3
Σ незасићених		84,9	92,6	89,4	48,4	85,9	86,7
Σ Омега-6		51,0	20,3	39,8	9,1	7,9	59,0
Σ Омега-3		7,4	9,3	0,2	0,2	0,6	0,7
Однос Н:З		5,64	12,46	8,47	0,94	6,08	6,53
Јодни број		130	118	133	50	86	125
Енергетска вредност, MJ/kg							
МЕ за одраслу живину		37,67	36,82	36,82	34,31	35,55	37,66
МЕ за пилиће		34,73	33,89	33,89	28,87	35,3	34,73
МЕ за свиње		34,20	33,68	33,68	32,64	35,98	34,20
НЕЛ за краве		20,58	20,45	20,45	20,26	22,08	17,07

Физичко-хемијске константе масти

Постоје одређене константе (табела 24) које се дуги низ година користе за идентификовање различитих врста масти, мерење њихових својстава или за откривање фалсификата масти. Од хемијских константи од највећег су значаја сапонификациони, јодни и Reichert-Meissl-ов број, а од физичких константи: тачка топљења, вискозитет, специфична тежина или индекс рефракције.

Тачка топљења се одређује на основу релативне молекулске масе и степена незасићености масних киселина у мастима. Масти које садрже висок ниво киселина ниске молекуларне масе, или незасићених масних киселина, имају ниску тачку топљења. Масне киселине са дужим ланцем или ниже засићене масне киселине, имају нижу тачку топљења. Ово може бити од посебног значаја и користи при утврђивању фалсификовања и добијања индиректне слике садржаја масних киселина. За течне масти користи се *тачка очвршћавања*. Она је увек нижа од тачке топљења.

Сапонификациони број, заједно са јодним бројем, представља далеко најважнију хемијску константу. Сапонификациони број је број mg KOH, потребних за неутрализацију слободних масних киселина и сапонификацију естерификованих масних киселина у 1 g масти. Пошто је свака масна киселина монохидроксилна, она се везује са само једним јоном K, ради формирања сапуна. Масти, као што је кукурузно уље, са високом молекулском масом масних киселина (18:1 и 18:2), требају само неколико mg KOH за сапонификацију 1 g масти. Насупрот овима,

масти са већим уделом масних киселина са кратким ланцем, као што су маслац или кокосово уље, захтевају много веће количине КОН за сапонификацију и имају много виши сапонификациони број. *Сапонификациони број представља меру релативне молекулске масе (дужине ланца) масних киселина у мастима.* Због тога, сапонификациони број изражава просечну дужину ланца три масне киселине у мастима.

Јодни број. Јод се везује на месту двоструких веза незасићених масних киселина, где се за једну двоструку везу везује два атома јода. Отуда, *јодни број представља меру укупне количине незасићених масних киселина у мастима.* Јодни број је број g јода који се може додати незасићеним везама у 100 g масти. Јодни број означава степен хидрогенације (сатурације, засићености) масних киселина у мастима. Потпуно засићена маст, као што је тристеарин, има јодни број 0, док течне масти, као што је ланено уље, имају јодни број од 175 до 202. Високо незасићена биљна уља и рибље уље, имају висок јодни број, док говеђи лој или кокосово уље који су високо засићени, имају низак јодни број. Добијене вредности не дају информацију о броју или размештају дуплих веза у молекулу одређене масне киселине.

У прошлости је тест са јодом коришћен за испитивање проблема меког свињског меса, проблема који је присутан када се свиње тове са хранивима богатим у незасићеним мастима, као што су арашид или зрно соје. Данас се као мера за ову појаву користи индекс рефракције.

Табела 24. Константе неких биљних и животињских масти (Јовановић и сар., 2001).

Врста масти	Сапонификациони број	Reicher-Meissl-ов број	Јодни број
Говеђи лој	196 - 200	1	35 - 40
Маслац	130 - 210	17 - 35	26 - 38
Кокосово уље	253 - 262	6 - 8	6 - 10
Кукурузно уље	187 - 193	4 - 5	111 - 128
Свињска маст	195 - 203	1	47 - 67
Ланено уље	188 - 195	1	175 - 202
Кикирикијево уље	186 - 194	1	88 - 98
Сојино уље	189 - 194	0 - 3	122 - 134
Сунцокретоно уље	188 - 193	0 - 5	129 - 136

Reichert-Meissl-ов (RM) број и Polenski-ева вредност. Ове две вредности и данас се користе се за утврђивање фалсификовања маслаца (путера), палминог и кокосовог уља.

Reicher-Meissl-ов број означава број ml 0,1 N КОН, који је потребан за неутралисање испарљивих и у води растворљивих масних киселина (кратког ланца), добијених хидролизом 5 g масти. Говеђи лој и друге масти високе релативне молекулске масе, практично не садрже испарљиве масне киселине и зато имају RM број који је близу 0. За разлику од њих, маслац садржи веће количине испарљивих масних киселина и стога има RM број од 17 до 35.

Polenski-евим бројем одређује се количина испарљивих и у води нерастворљивих масних киселина у мастима. Вредност Reichert-Meissl-овог броја зависи у великој мери, од количине бутерне киселине, а Polenski-ева вредност од садржаја каприлне и капринске киселине.

Киселински број. Висок ниво слободних масних киселина указује на промене у мастима, које доводе до погоршања њиховог квалитета. Као метод, киселински број

служи за одређивање слободних масних киселина у мастима. Киселински број представља број mg КОН, потребних за неутрализацију слободних масних киселина у 1 g масти. Као мера киселински број данас је од мањег значаја него раније, пошто слободне масне киселине могу бити употребљене са мастима у храни, а добијене вредности не значе да су промене у квалитету последица лоше обраде и чувања.

Физичка својства масти

Мада својства масти значајно варирају између појединих врста животиња, начелно су животињске масти чврсте на собној температури, због високог садржаја засићених масних киселина (тристеарини - топе се на 71°C). Биљне масти, као нпр. уље кукуруза, течне су на собној температури, због високог садржаја незасићених масних киселина (триолеини - топе се на -17°C).

Чисти глицериди немају мириса, боје и укуса. Природне масти, као што су масти у жуманцету јајета и маслацу, добијају боју од пигмената, а специфичан мирис и укус од растворених материја. Масти су лош проводник топлоте и зато служе као веома добар изолатор организма животиња. Ово може представљати предност, а и неповољну околност. Дебеле крмаче при високим дневним температурама, ослобађају велике количине телесне топлоте.

Ужегlost масти. Појава непријатног мириса и укуса у мастима, које се дуже времена складиште, настаје као последица хидролизе глицерида у слободне масне киселине и глицерол, или услед оксидације незасићених масних киселина у уља. *Хидролитичка ужегlost* јавља се у случајевима када масти садрже масне киселине кратког ланца као што су бутерна и капронска, које се хидролизују и ослобађају масне киселине непријатног мириса.

Оксидативна ужегlost значајнија је форма ужеглости. До појаве непожељног мириса и укуса долази услед оксидације незасићених масних киселина у мастима и појаве алдехида, кетона и сличних једињења. Потпуно засићене масти готово су у потпуности отпорне на оксидативну ужегlost, мада се *кетонска ужегlost* јавља као резултат формирања метил кетона, када су засићене масне киселине оксидисане, као што је то случај у производњи различитих сирева. Превенирање или одлагање оксидативне ужеглости је један од разлога за велику популарност хидрогенизованих масти у производњи различитих производа.

Високо рафиниране масти почињу да апсорбују кисеоник непосредно након њиховог експонирања. Природне масти, међутим, могу значајно варирати у погледу *индукционог периода* пре почетка оксидације. Одређене незасићене масти потпуно су резистентне услед присуства тзв. *антиоксиданата*. Антиоксиданти су једињења која се сама веома лако оксидишу и тако штите масти од оксидације. Многа биљна уља садрже ове природне антиоксиданте, док их масти животиња обично не садрже.

Најзначајнији природни антиоксиданати су токофероли који се јављају у различитим биљним мастима (уље пшеничних клица је најбогатији њихов природни извор), затим различити феноли, каротеноиди, селен и др. Известан број синтетичких једињења, као етоксикун, рутински се додају јестивим уљима и мастима, ради продужавања периода индукције. Подлежући ужеглости, масти могу изазвати брзу разградњу других материја, као што су витамини А и Е, који су додати храни животиња.

Следећа група материја носи назив *прооксиданти*, који катализују оксидацију незасићених масти. Најважније материје из ове групе су бакар, гвожђе и никлове соли органских киселина. Оне се обично стварају у току прераде масти, и у присуству топлоте, светлости и влаге доводе до убрзања процеса оксидације.

СЛОЖЕНЕ МАСТИ

Сапонификујуће масти

Ово су масти које уз хидрофобне остатке масних киселина и алкохола садрже и хидрофилне поларне групе (азотне базе, шећере). Ова група липида, позната и као "*поларни липиди*", укључује фосфолипиде, сфинголипиде, гликолипиде и липопротеине.

Фосфолипиди су естри глицерола, у коме су две хидроксилне групе естерификоване масним киселинама дугог ланца. Трећа је естерификована фосфорном киселином. Најчешћи фосфолипиди у биљкама и животињама су лецитини, у којима је фосфорна киселина, такође, естерификована азотном базом холином. Због присуства ланца хидрофилне фосфатне групе и хидрофобне масне киселине, унутар истог молекула, фосфолипиди имају особине емулгатора и важну улогу транспорта липида у крви, а и као компоненте мембрана у животињском организму. Фосфолипиди се налазе у већим количинама у срцу, бубрезима и нервним ткивима. Фосфолипиди у овим ткивима богатији су у незасићеним масним киселинама од триглицерида у адипозном ткиву. Липиди из семена соје, такође, садрже лецитин. Лецитин изолован из зрна соје користи се као емулзионо средство у заменама млека за телада.

Сфинголипиди уместо глицерола садрже аминокиселински алкохол сфингозин, коме је додата једна масна киселина, фосфат и холин. Као лецитини и они су површински активни и чине компоненте мембрана, нарочито у нервном ткиву.

Гликолипиди представљају главне липидне компоненте у кабасти хранивима. У овим једињењима, две од хидроксилних група глицерола естерификоване су са масним киселинама, у највећој мери са линолном киселином. Један или два молекула галактозе су причвршћени за трећи С атом глицерола.

Липопротеини су липиди везани са специфичним протеинима. Они играју основну улогу у транспорту липида крвљу, од танких црева до телесних ткива. Липопротеини из крвне плазме могу се поделити према њиховој густини, која представља особину липида.

Несапонификујући липиди

Несапонификујући липиди, који не садрже масне киселине и не могу стварати сапуне, укључују стероиде, терпене, каротиноиде и у мастима растворљиве витамине.

Стероиди представљају велику групу физиолошки важних једињења у биљкама и животињама. Садрже циклопентанофенантренски прстен. Најчешће присутни стероиди су стероли, који представљају стероидне алкоhole. Холестерол, најважнији стерол у организму животиња, компонента је ћелијских мембрана.

Терпени, материје које се налазе у биљкама, имају карактеристичан мирис и укус.

Каротиноиди и витамини растворљиви у мастима, такође су несапонификујући липиди.

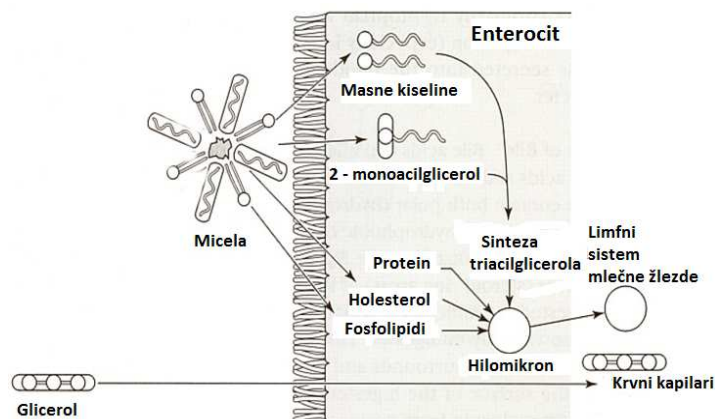
МЕТАБОЛИЗАМ МАСТИ

Варење и апсорпцију масти обележава чињеница да су масти неполарна једињења и да се не мешају са водом. Основни задатак при њиховом варењу је довођење масти у форму да се могу мешати са водом како би се могли апсорбовати кроз микропапиле танког црева, које су покривене воденим слојем. Даљи ток је исти у свих врста животиња: липолиза (хидролиза липида), мицеларно растварање производа липолизе, усвајање растворених производа од стране цревне мукозе и секреција триглицерида у крв. У погледу самог механизма постоје одређене разлике између преживара и непреживара.

3.3.2. МЕТАБОЛИЗАМ МАСТИ У НЕПРЕЖИВАРА

Механичко одвајање липида од других хранљивих материја, одвија се у желуцу. Под утицајем перисталтичке активности желуца и дуоденума, груба емулзија масти доспева у дуоденум, где се одвијају најважнији процеси варења и апсорпције. Даље емулговање масти одвија се у танким цревима (слика 10), после контакта са жучним солима, које због свог детерџентског деловања смањују величину честица липида. Најзначајније жучне киселине које поседују детерџентска својства су холна, таурохолна и гликохолна. Мања величина честица, формираних под утицајем жучних киселина, има већу додирну површину за деловање панкреасне липазе. Панкреасна липаза делује само у уљано-воденој фази, што објашњава потребу емулговања масти за њихово варење. Панкреасна липаза разграђује триглицериде у присуству жучних соли. Ензими не хидролизују у потпуности триглицериде, те разградња престаје на нивоу 2-ацилмоноглицерола. Самим тим, два молекула слободне масне киселине ослобађају се из сваког молекула триглицерида.

Моноглицериди, масне киселине и жучне боје, имају поларне или неполарне групе, те особину скупљања и формирања мицела, подесних за апсорпцију. *Мицеле* су у води растворљиви агрегати молекула масти, који садрже поларне и неполарне групе (слика 10). Молекули су груписани у мицеле тако да су поларне групе на спољашној страни и у додиру са течном фазом, док неполарни делови формирају унутрашње липидно језгро мицела. Мицеле, формиране у лумену дуоденума, веома су fino дисперговани липиди у води који носе производе варења липида (масне киселине, моноглицериде) до ћелија мукозе танких црева, где се ови затим апсорбују. Мада је формирање мицела од суштинског значаја за нормално варење и апсорпцију масти, разбијање мицела претходи апсорпцији њихових компонената. Мицеле масти када дођу у контакт са мембраном микропапила се разарају. Жучне соли се не апсорбују на истом месту као масне киселине и моноглицериди. Апсорпција производа липолизе одвија се претежно у дуоденуму и предњем делу танког црева, док се жучне соли апсорбују у задњем делу танког црева, а преко порталне крви доспевају у јетру. Одавде долазе у жуч и поново враћају у дуоденум. Важна особина мицела, састављених од масти и жучних соли је усвајање значајних количина неполарних једињења као што су стероли, витамини растворљиви у мастима и каротиноиди. Иначе, ове масти не би биле апсорбоване.



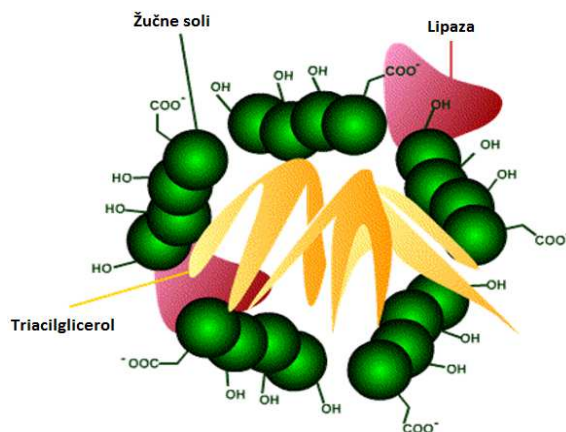
Слика 10. Апсорпција масти у танком цреву.

Незасићене масне киселине, као што су олеинска и линолеинска, формирају смешу мицела и жучних боја, док је растворљивост засићених масних киселина са дугим ланцем у мицелама жучне киселине веома ниска. Моноглицериди и незасићене масне киселине, делују синергијски у циљу подстицања уграђивања засићених масних киселина у мицеле. Овакво деловање присутно је у младих пилића који користе засићене масти много боље када се конзумирају заједно са незасићеним мастима. Поред тога, ограничене количине триглицерида могу бити апсорбоване интактне, као фина емулзија, а глицерол, ослобођен у току липолизе, бива апсорбован као глукоза једноставном дифузијом са неким од носача.

Најважнији производи варења масти, моноглицериди и масне киселине са дугим ланцем, после разбијања мицела, улазе дифузијом у ћелије мукозе црева пасивним транспортом. Ресинтеза триглицерида из моносахарида одвија се унутар ћелија мукозе и иде преко моноглицерида или глицерол-3-фосфата. У оба случаја слободне масне киселине се прво трансформишу до њихових деривата коензима А.

3.3.3. МЕТАБОЛИЗАМ МАСТИ У ПРЕЖИВАРА

Механизам варења и апсорпције масти у телади и јагњади, у предруминалном периоду, у основи је исти као у непреживара. Масти у оброцима преживара присутне су, углавном, у естерификованој форми, као моно- и дигалактоглицериди у кабастим, и као триглицериди у концентрованим хранивима. Масти присутне у овим оброцима садрже висок удео полинезасићених масних киселина у галактолипидима кабастих хранива и у триглицеридима зрнастих хранива. У румену преживара одвија се интензивна хидролиза естерификованих масти хране, триглицерида, галактолипида и фосфолипида, деловањем липаза микроорганизама. Овим је омогућено ослобађање слободних масних киселина, а галактоза и глицерол бивају ферментисани у испарљиве масне киселине. Ослобођене полинезасићене масне киселине (линолна и линолеинска), преко хидрогенације коју врше бактерије, прво дају моноенолну, а на крају стеаринску киселину. Свега мање од 10% полинезасићених масних киселина избегава хидрогенацију, тако да производи варења масти доспевају до главног места апсорпције у танким цревима, у форми засићених масних киселина (палмитинска и стеаринска), са мањом количином мононезасићених масних киселина, веома малим количинама полинезасићених масних киселина и мастима микроорганизама.



Слика 11. Шема мицеле.

Поред тога што је највећи део есенцијалних масних киселина хране разграђен у току биохидрогенације, преживари не пате од недостатка ових киселина. Мала количина непромењених есенцијалних масних киселина које пролазе кроз румен, довољна је да обезбеди потребе преживара у њима. Микроорганизми румена имају способност синтезе неких од масних киселина са непарним бројем С атома у ланцу, из пропионата и масних киселина са разгранатим ланцем из угљениковог скелета аминокиселина валина, леуцина и изолеуцина. Ове киселине могу бити уграђене у млечну и телесну маст преживара.

Највећи део масти у преживара доспева у дуоденум, у форми слободних масних киселина, са веома високим учешћем засићених масних киселина. Слободне масне киселине су присутне у танком цреву преживара, у форми танких слојева на површини честица хране. Моноглицериди који подстичу мицеларну растворљивост липида у моногастричних животиња, отклањају се хидролизом у румену и зато их нема у преживара. Слободне масне киселине, присутне у танким цревима преживара, преносе се од честица хране до фазе мицела. Ресинтеза триглицерида у мукозним ћелијама пролази преко глицерофосфата, пошто се моноглицериди не апсорбују из црева одраслих преживара. Отпуштање масти из мукозних ћелија слично је као у непреживара. Слаба апсорпција каротина у преживара, може бити последица непотпуне мицеларне растворљивости овог једињења.

Транспорт и депоновање масти

Масти се транспортују крвљу из мукозних ћелија црева до различитих телесних ткива, углавном у форми липопротеина, а у мањој мери као слободне масне киселине. Протеини у липопротеинима дају особину растворљивости мастима и омогућавају њихов транспорт у крви. Пре напуштања мукозних ћелија, помешане масти, које су овде присутне, претежно триглицериди, и мања количина фосфолипида и естра холестерола, бивају превучени танким слојем протеина. Ови протеини, односно обложене честице, називају се *хиломикро*ни. У сисара хиломикроци прво долазе у крв, а затим улазе у циркулацију, док у живине највећи део липида улази у портални крвоток одакле доспевају у јетру. У лимфи непреживара хиломикроци су претежно липидна фракција, али у лимфи преживара липопротеини су најважнији носач липида. Концентрација масти у крви веома је висока у кокоши носиља. Ово је потребно ради депоновања великих количина масти, неопходних за формирање жуманца.

Одвојено од апсорпције масти хране у цревима, масти које циркулишу у крви настају мобилизацијом масти депонованих у ткивима или у току синтезе. Масти се веома брзо отклањају из крви и одлазе у адипозно ткиво, јетру и друга ткива. Усвајање триглицерида од стране ових ткива, праћено је хидролизом до слободних масних киселина и глицерола. Овај процес катализује липопротеин липаза, присутна у капиларима зидова ткива. Слободне масне киселине могу бити распоређене у телесним ткивима на различите начине: (1) могу бити комплетно оксидисане до CO_2 и воде за ослобађање енергије; (2) могу бити естерификоване, ради поновног формирања триглицерида, који поново могу бити ослобођени у крв или депоновани у телесним ткивима; (3) мали део бива транспортован крвљу, заједно са албумином.

Адипозно ткиво је најзначајније место депоновања масти у животињском организму. Састоји се од скупа сферичних ћелија, познатих под именом *адипоцити*. Велике капи масти испуњавају већину ћелија адипозног ткива. Адипозно ткиво се налази претежно испод коже, али и око унутрашњих органа (срце, бубрези), а одавно је доказано да се ради о веома активном динамичком ткиву у коме се континуирано одвија синтеза и разградња масти.

3.3.4. БИОСИНТЕЗА МАСТИ

Јетра, адипозно ткиво и млечна жлезда, представљају најважнија места за синтезу масних киселина и триглицерида. Најважнија полазна материја за биосинтезу масних киселина је ацетил- CoA , настао из глукозе, разградњом масти и одређених аминокиселина. Основна разлика у трансформацији глукозе у масне киселине, између преживара и непреживара, је у начину формирања ацетил- CoA .

Биосинтеза масти у непреживара. Пут трансформације глукозе у триглицериде у непреживара је следећи:



У непреживара и живине, ацетил- CoA се формира у митохондријама оксидативном декарбоксилацијом соли пирогрођане киселине, која настаје у току гликолизе. Када не улази у циклус трикарбонских киселина за производњу енергије, ацетил- CoA се трансформише у масни ацил- CoA са дугим ланцем. Овај процес који се одвија у цитозолу, се може поделити у два дела: (1) карбоксилација ацетил- CoA , ради стварања малонил- CoA (кога катализује ацетил- CoA карбоксилаза) и (2) серија реакција кондензације, редукције и дехидратације, које започињу са ацетил- CoA и малонил- CoA , које катализује мултиензимски комплекс. Трансформација соли пирогрођане киселине у ацетил- CoA , одвија се унутар митохондрија, а синтеза масног ацетил- CoA у цитозолу. Последња фаза у биосинтези триглицерида, естерификација масног ацетил- CoA дугог ланца са глицеролом, одвија се на исти начин као реестерификација масних киселина у мукозним ћелијама.

Биосинтеза масти у преживара. Млади преживари поседују природну способност трансформације глукозе у масне киселине. Постизањем пуне функционалне активности румена, ова способност се губи, а ацетати, најважнији производ ферментације у румену, постају најзначајнији извор угљеника за синтезу масних киселина. Сирћетна киселина дифузијом прелази из лумена румена у крв. При доласку у телесна ткива, посредством цитозол ацетил- CoA , ова киселина

прелази у ацетил-СоА. Овај пут синтезе масних киселина, који се одвија у адипозном ткиву преживара, значајно се разликује од процеса присутних у непреживара. Преживари не могу користити глукозу крви за синтезу масних киселина, због веома мале активности цитратне липазе и јабучног ензима у њиховим ткивима. Ове животиње поседују механизам за конзервисање глукозе за важније функције, пошто се глукоза у ових животиња углавном производи у току глуконеогенезе, док непреживари највећи део глукозе у крви добијају из хране. Трансформација ацетил-СоА у масне киселине са дугим ланцем, одвија се у преживара на исти начин као у непреживара.

Утицај хране на биосинтезу масти

Синтеза масних киселина у свиња и одраслих преживара одвија се готово искључиво у адипозном ткиву. Насупрот овоме, у живине ова синтеза се одвија претежно у јетри, где адипозно ткиво има само улогу места за депоновање масти.

Синтеза масних киселина контролисана је од стране различитих фактора хране и хормона, који утичу на обим производње ензима повезаних са овом синтезом, а нарочито од стране ацетил-СоА карбоксилазе. Овај ензим инхибиран је од стране масног ацетил-СоА и слободних масних киселина, у којима су богати оброци са високим садржајем масти, а стимулирани од стране трикарбонских киселина, које настају при исхрани угљеним хидратима. Због тога, конзумирање масти и угљених хидрата, обезбеђује контролу синтезе масних киселина преко тзв. повратних механизма. Засићене масти имају већи инхибиторни утицај на синтезу масних киселина од незасићених масти. Обим липогенезе смањен је при следећим условима, када су потребе у енергији претежно подмирене мастима егзогеног и ендогеног порекла: (1) у животиња које гладују и обезбеђују највећи део својих потреба у енергији деградацијом телесних масти; (2) у прасици на сиси и (3) у ембриону пилића пре лежења.

Тип угљених хидрата, такође, има утицаја на синтезу масних киселина. Замена сахарозе или фруктозе скробом или глукозом у obroку, доводи до пораста липогенезе, а нарочито у живине. Позитиван утицај угљених хидрата на биосинтезу масних киселина, такође, може бити везан за ниво инсулина у крви. При исхрани оброцима богатим у угљеним хидратима, поред пораста нивоа глукозе у крви, долази и до повећаног лучења инсулина. Ово омогућава да већи део глукозе доспе до адипозних ћелија, где ова може бити трансформисана у масне киселине и депоноване као маст. Због тога, непреживари који конзумирају оброке богате у угљеним хидратима, производе велике количине масти.

Поред састава obroка, на обим липогенезе имају одређени утицај начин и режим исхране животиња. Тако, нпр. оброчна исхрана пилића, за разлику од континуиране исхране *ад либитум* (исхране по вољи), доводи до повећане синтезе масних киселина. Ово може бити услед промене циркулације материја и хормона, као последица оброчне исхране. Због тога, животиње које једнократно конзумирају дневни оброк, постају знатно масније од животиња које дневни оброк узимају у више порција.

Утицај хране на депоновање телесних масти

Свака врста непреживара и свако телесно ткиво имају одређени константан састав масних киселина. Триглицериди настали у току липогенезе (из угљених хидрата и протеина) и међусобном конверзијом масних киселина, одговарају специфичном саставу одређеног ткива. Конзумирање значајних количина масти

мења састав масних киселина у мастима ткива пилића у различитој мери. У табели 25 је приказано на који начин су оброци са ланеним и сунцокретовим уљем, утицали на маснокиселински састав масног ткива бројлера. У обе групе је додато 5% ланеног односно сунцокретовог уља. Постигнуте су значајне разлике у садржају полинезасићених масних киселина у масном ткиву бројлера.

Табела 25. Утицај маснокиселинског састава obroка на маснокиселински састав масног ткива бројлера (Старчевић и сар., 2014).

Ознака масне киселине ^а	Оброк са додатком уља		Масно ткиво бројлера	
	ланено уље	сунцокретово уље	ланено уље	сунцокретово уље
C16	11,14	7,42	20,56	20,50
C18	5,65	2,37	6,37	6,18
C18:1	21,39	41,25	35,73	35,97
C18:2	33,08	48,66	23,84	34,55
C18:3	28,74	0,30	12,80	2,06

^аПроценат од укупних масних киселина

Адипозна маст знатно је осетљивија на утицај састава масних киселина у храни од масти у појединим органима. Оброци који садрже памуково уље дају свињску маст веће тврдоће. Оброци богати у високо незасићеним мастима (уље зрна кукуруза и соје), дају меку маст. Маст депонована у адипозном ткиву није статична. При исхрани свиња у порасту са незасићеним мастима, поткожна маст може накнадно отврднути. Ово се постиже коришћењем obroка са ниским садржајем масти у току последња два месеца това. Тада се депонују засићене масне киселине синтетисане у самом организму из угљених хидрата. У практичној исхрани, ово се постиже заменом кукуруза јечмом, у смешама за завршни тов свиња. Насупрот непреживарима, на састав масних киселина у адипозном ткиву преживара, масне киселине у obroку немају значајнији утицај. Обимна микробиолошка хидрогенација незасићених масти у румену, доводи до претходних промена у масним киселинама, које бивају усвојене од стране адипозног ткива. Због тога, масне киселине у адипозном ткиву углавном су засићене, без обзира на састав obroка. Из ових разлога масти преживара карактеристичне су тврдоће.

Катаболизам масти

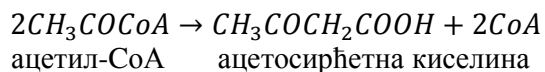
У току периода гладовања и велике потребе организма у енергији, долази до мобилизације депоноване масти, углавном из адипозног ткива и оксидације за потребе производње енергије. При томе, триглицериди морају бити хидролизоване до њихових основних састојака, пре продужавања даљег тока катаболизма. Разградњу масти депонованих у адипозном ткиву, у глицеролу и масне киселине, катализује интрацелуларни хормон, *сензитивна липаза*. Производњу ових хормона стимулише гладовање и стрес. Масне киселине и глицерол ослобођени из депоа дифундују у крв, где масне киселине бивају везане за албумин, а затим транспортоване до других ткива, где могу бити употребљене као гориво. Већина ткива у којима се може обављати аеробна оксидација (мишићи, јетра, срце, мозак и др.), поседују изврстан капацитет за коришћење масних киселина као извора енергије. Најважнија улога масних киселина је производња енергије. У животиња које гладују, масти представљају претежан извор енергије.

Концентрација и састав слободних масних киселина у крвној плазми варира у зависности од њихове трансформације из телесних депоа, усвајања од стране ткива и апсорпције из гастроинтестиналног тракта. Масне киселине представљају интермедијарне производе метаболизма енергије, а њихов ниво у крвној плазми представља поуздан биохемијски параметар обезбеђености енергијом. У случају стреса, гладовања или дуготрајне мишићне активности, ниво масних киселина у крвној плазми непреживара расте за око 5 пута и обезбеђује алтернативно гориво за глукозу, која може бити конзервисана за коришћење од стране других ткива. Сразмерно висока концентрација масних киселина у крвној плазми преживара у лактацији и gravidитету, значајна је за оцену њиховог нутритивног статуса.

Масне киселине бивају потпуно оксидисане до CO_2 и H_2O . Најважнији пут њихове оксидације је β -оксидација. Оксидација масних киселина започиње активирањем масних киселина са коензимом А, у присуству АТР и ацетил-СоА.

Мали део енергије пореклом из масти (око 20%), може се обезбедити и из глицерола, који се ослобађа из депоа, заједно са масним киселинама. Глицерол, као глуконеогена супстанца, трансформише се у глукозу која се потом оксидише за производњу енергије.

Формирање кетонских тела. У периоду великих физиолошких потреба животиња у глукози, као, нпр. у крава високе млечности, у време максималне дневне производње млека, а у оваца при крају сјагњености, животиње не могу у потпуности користити масне киселине за оксидацију и производњу енергије. У оваквим случајевима, деградација угљених хидрата је смањена, а ниво оксалоацетата недовољан за кондензацију са ацетил-СоА. Зато, кондензација између ацетил група има следећи ток:



Ацетосирћетна киселина може бити редукована са NADH до β -хидроксибутерне киселине или декарбоксилисана за формирање ацетона. Ове три супстанце се називају *кетонска тела*. Мале количине кетонских тела стално се формирају у преживара и могу се користити као извор енергије за периферна ткива, нарочито периферне мишиће. Нивои у крви и екскреција кетонских тела урином, расту у животиња са кетозом, као што је то случај у крава високе млечности и сјагњених оваца, које носе више од једног фетуса.

Уношење масти у оброке животиња

У оброцима животиња угљени хидрати могу се једним делом заменити мастима као извором енергије и трансформисати у телесне масти. Сваки оброк садржи мале количине неопходних масти, које имају улогу носача у транспорту и апсорпцији у мастима растворених витамина и извора есенцијалних масних киселина.

Данас је додавање масти оброцима животиња, а нарочито оброцима живине и крава музара, широко распрострањен метод. Бројне врсте масти (лој, свињска маст, сојино, сунцокретоно и рицинусово уље, као и споредни производи рафинираних јестивих уља) користе се за повећање концентрације енергије у оброцима живине и свиња, чиме се повећава ефикасност трансформације хране у животињске производе и утиче на промену њиховог састава у жељеном правцу.

Протектиране масти. За исхрану телади и јагњади у периоду сисања, високи нивои масти користе се у заменама за млеко (15-30%). Преживари показују мању толеранцију на високе нивое масти (максимално 6-8%) од непреживара. Још седамдесетих година прошлог века је разрађен поступак за коришћење значајних количина "протектираних" (заштићених) масти. У својој основи протектирање масти представља поступак инкапсулирања малих капљица уља са танким слојем протеина, третираног формалдехидом. На овај начин, капљице масти избегавају активност микроорганизама у румену, па се маст ослобађа под утицајем високе киселости у абомазуму. На овај начин маст постаје доступна за варење и апсорпцију у танким цревима, као што се то одвија у непреживара. Исхрана са незасићеним мастима у протектираној форми, доводи до брзог пораста степена незасићености липида крвне плазме, масти млека и телесних масти. Ово је нарочито подстакнуто превенирањем могућности појаве обољења срца и артериосклерозе.

3.4. ПРОТЕИНИ

По својој хемијској природи протеини су веома комплексна органска азотна једињења, велике молекулске масе (од 5000 до 1 милион). Протеини имају виталну улогу у свакој живој ћелији организма: структурна су компонента различитих телесних ткива, хормона, а у комбинацији са другим материјама представљају компоненте ћелијског зида и мембрана. Такође су укључени у транспорт кисеоника и других хранљивих материја, затим мишићну контракцију, одржавање ацидо-базне равнотеже организма, регулисање осмотског притиска, имунитет, грушање крви и преношење наследних својстава животиња. Постоји веома мали број физиолошких процеса у животињском организму у којима протеини активно не учествују, а назив протеин означава материје од највећег значаја и потиче од грчке речи *протеиоус*, што значи први или најважнији.

Протеини су изграђени од ланаца, састављених од око 20 структурних компоненти, које се називају аминокиселине. Сваки од протеина има специфичну секвенцу (редослед) аминокиселина, па због тога и своју специфичну конфигурацију.

3.4.1. КЛАСИФИКАЦИЈА И СВОЈСТВА ПРОТЕИНА

Из органа животиња или њихових хранива, до сада је изолован мали број појединачних протеина. Сви до сада добијени протеини, могу се поделити у следеће групе: (1) *прости (једноставни) протеини*, који при хидролизи дају само аминокиселине, и (2) *коњуговани (сложени) протеини*, који представљају просте протеине, комбиноване са другим једињењима.

1) Прости протеини

Постоје две групе простих протеина: *глобуларни* и *фиброзни*, који се међусобно знатно разликују по структурној конфигурацији.

Глобуларни протеини су релативно растворљиви и прилично компактни због значајне количине дугих полипептидних ланаца специфичне конфигурације. *Албумини* су у води растворљиви и представљају значајан део протеина семена биљака, протеина крвног серума и протеина јајета. *Глобулини* су слабо растворљиви у води, али се њихова растворљивост повећава при додавању неутралних соли (NaCl). Овде спадају глобулини крвног серума и мишића и глобулини присутни у семену легиуминоза. *Гутелине* (растворљиви само у раствору алкалија) и *проламин* (растворљиви у алкохолу) карактеришу нерастворљивост и хидрофобна својства протеина зрна пшенице и кукуруза. Оба ова протеина отпорна су на хидролитичку активност микроорганизама румена.

Протеини лишћа су значајно мање заступљени од оних у семену биљке. Најважније компоненте протеина листа и стабла су растворљиви протоплазматски протеини, који се даље деле на цитоплазматске и хлоропластске протеине.

Знатно мање растворљиви *протеини из зидова ћелија*, формирају једну компоненту, присутну у веома малим количинама. Протоплазматски протеини, који представљају ензимски механизам у метаболизму биљака, имају већу хранљиву вредност од протеина у зрнима биљака. Искоришћавање протеина екстрахованих из зелених биљака (луперка) препоручује се за употребу у исхрани животиња и човека.

Фиброзни протеини су изграђени од издужених пептидних ланаца повезаних са неколико типова попречних веза, што њихову структуру чини прилично стабилном и нерастворљивом. Ови протеини су одговорни за механичка својства многих животињских ткива и органа, у форми колагена, еластина и кератина.

Колаген је најважнија компонента везивног ткива. Са старошћу животиња расте садржај колагена, што месо старијих животиња чини тврђим и жилавијим. *Еластин* је еластичан фиброзни протеин у тетивама и артеријама. Колаген и еластин садрже висок проценат аминокиселина глицина и пролина. Колаген карактерише присуство хидроксипролина који је јединствен у овом протеину. Значајне количине колагена и еластина присутне су у споредним производима кланичне индустрије, који се користе у исхрани животиња. Оба ова протеина су ниске биолошке вредности, због једнообразног садржаја аминокиселина. Колаген је резистентан на деловање ензима за варење, али се кувањем у води и разблаженим киселинама може превести у лако сварљиве желатине.

Кератини су присутни у епителу ткива, длаци, вуни, перју, папцима и копитама. Кератини садрже велике количине цистина, а многе дисулфидне везе повезују пептидне ланце, који доприносе њиховој механичкој јачини и отпорности на варење.

2) Коњуговани (сложени) протеини

Гликопротеини представљају протеинско-угљено хидратни комплекс. Хондроитин сулфати се налазе у хрскавици, тетивама и кожи и садрже сулфополисахариде. Мукопротеини садрже хексозе, пентозе, аминок шећере и друге деривате шећера, који су присутни у слузастим секретима као што су пљувачка и компоненте беланца јајета (овалбумин, овомуцин).

Липопротеини су једињења која у својој структури садрже липиде. Јављају се у жуманцету јајета, нервном ткиву (миелин) и мембранама (нпр. еритроцита). Растворљиви липопротеини су најважнија форма транспорта липида у крви животиња.

Хромопротеини су протеини комбиновани са обојеним једињењима, као што су хемоглобин, миоглобин и хлорофил.

Особине и грађа протеина

Због великих молекула, протеини имају особине колоида. Протеини не пролазе кроз ћелијске мембране и могу апсорбовати јоне. Ради се о својствима која су веома важна за реакције ензима. Протоплазма ћелије представља колоидни раствор протеина, угљених хидрата и липида. Растворљивост зависи од врсте протеина. Неки од њих су нерастворљиви, док су други растворљиви у води. Има и таквих протеина који су нерастворљиви у води, али су растворљиви у раствору киселина и алкалија или алкохолу. На растворљивост протеина велик утицај има рН вредност супстрата. Вискозитет у раствору је уско везан за облик молекула. Велики и дуги молекули имају и већи вискозитет.

Протеини садрже слободне аминок и карбоксилне групе, због чега су, као и аминокиселине, амфотерна једињења и могу се хемијски комбиновати са базама или киселинама. Као и аминокиселине, тако и сваки од протеина има одређену рН вредност, при којој је позитивно наелектрисање једнако негативном (изоелектрична тачка). При изоелектричној тачки, одређени протеин је биполаран јон. При рН вредности изнад ове тачке, протеин је анион и везује тешке метале. При вредности

испод ове тачке, протеин се понаша као катјон и везује киселине и комплексне соли.

Захваљујући својим природним својствима, протеини представљају изванредне пуфере, тако да и највећи део пуферног капацитета животињског организма потиче од протеина. Поларне аминокиселине и хидроксилне групе протеина, показују тенденцију комбиновања са водом и хидратацију, чији комплекси имају способност дисоцијације. Известан степен хидратације веома је важан за нормалну функцију ткива. Преципитација протеина са позитивним или негативним јонима веома је важна у изолацији протеина и производњи деривата од протеина.

Протеини имају веома сложену тродимензионалну грађу. Док је јака ковалентна пептидна веза најважнији начин везивања полипептидних компонената, дотле водоникове, дисулфидне, јонске и хидрофобне или неполарне везе служе да одрже ове пептидне ланце у тродимензионалној просторној структури. Оваква специфична грађа је од изузетног значаја за поједине типове протеина, за обављање њихових хемијских и биолошких функција у организму животиња, као што су ензимска или хормонална активност и функција глобулина као антитела.

Протеини имају четири нивоа организације. *Примарна* грађа протеина односи се на аминокиселински састав и секвенцу у пептидном ланцу. *Секундарна* грађа односи се на савијене (увијене) пептидне ланце, као резултат везивања кисеоника карбоксилне групе и азота амида полипептидног ланца, од стране водоникове везе. Интеракција између делова истог ланца или између неколико пептидних ланаца, доводи до стварања тродимензионалне структуре познате као *терцијарна*. Оваква структура се јавља у фиброзним и глобуларним протеинима. Још већи степен организације протеина назива се *кватерна грађа*, а јавља се у различитим полимерима.

Денатурација. При денатурацији протеина долази до губитка секундарне, терцијарне или кватерне структуре, услед кидања попречних веза. До денатурације може доћи услед деловања топлоте, ултравиолетних зрака, киселина, алкалија, детерџената или органских растварача. Овде не спадају хидролизе пептидних веза. Денатурација протеина хране доводи до промена хемијских, физичких и биолошких особина ових материја. Протеини су много мање растворљиви на њиховој изоелектричној тачци. Губитак биолошке активности, посебно ензимске или хормонске, уобичајена је појава. Отпорност на деловање протеолитичких ензима у великој мери је смањена.

Физиолошке функције протеина

Протеини обављају бројне и веома разноврсне функције у организму животиње. Протеини мишићног ткива присутни су у великим количинама. Насупрот њима, хормони се јављају у веома малим количинама. Протеини хране и различите непротеинске азотне материје (NPN), представљају изворе NH_2 група неопходних за синтезу телесних протеина. Телесни протеини чине највећи део метаболичке “машине” животиње. Пораст животиња представља процес бржег формирања протеинских ткива, него што је њихова разградња. Ако се изузме вода, највећи део пораста животиња отпада на повећање масе протеина. Због тога, по природи своје функције у животињском организму, протеини су знатно више везани за пораст животиње него масти и угљени хидрати.

Протеини мишића чине око 80% суве материје мишића. *Актин* и *миозин* се везују и дају *актомиозин*, који има функцију контракције мишића. Актимиозин у фибрилима мишића чини најмање 50% мишићних протеина. У саркоплазми миоглобин се јавља у малим, али веома значајним количинама, где игра улогу носача кисеоника.

Ензими играју једну од основних биохемијских функција у животињском организму. Ензими су биокатализатори који убрзавају хемијске реакције без промене коначних производа. Ензими врше пренос хемијских група и електрона, катализују интрамолекуларне промене, кидају одређене везе или везују молекуле.

Протеини крвне плазме имају бројне и разноврсне функције у организму животиње. Међу најважније спадају одржавање осмотског притиска, биланс електролита и рН организма. Имају важну улогу у транспорту масних киселина, хормона и јона метала, учествују у регулисању ћелијске активности (хормони), штите организам животиње од различитих узрочника (антитела), превенирају појаву тромбозе, снабдевају телесна ткива аминокиселинама. Албумини крвног серума имају и одређену улогу у регулисању осмотских функција. Велики део протеина крвне плазме укључен је у транспорт катјона, анјона и других супстанци. Велики број бочних ланаца у протеинима, реверзибилно везују или ослобађају протоне и тако омогућавају протеинима да обављају улогу пуфера у регулисању ацидо - базне равнотеже.

Трансферин је специфичан плазма гликопротеин који реверзибилно везује готово читаво гвожђе у плазми и транспортује га у коштану срж и органе за депоновање. Реверзибилно постаје мање или више засићен атомима гвожђа из мукозе црева, разграђеног хемоглобина или се гвожђе ослобађа по потреби. Трансферин поседује способност преношења гвожђа од једног до другог ткива, а у циљу регулисања апсорпције и заштите од тровања гвожђем.

Примарна, а вероватно и једина улога гама глобулина, јесте да омогуће организму животиње производњу специфичних протеина (антитела), у циљу неутралисања спољних агенаса да продру у телесна ткива. Ово представља веома важан аспект регулаторне функције протеина.

Најмање десет различитих протеина крвне плазме укључено је у процес нормалне *коагулације* крви. Ови коагулациони протеини међусобном интеракцијом формирају фибрински угрушак. У току процеса коагулације, протеини могу деловати као ензими, супстрати, активатори, инхибитори и учествовати у неензимским интеракцијама.

Хормони су протеини и полипептиди, који регулишу бројне и веома важне процесе у порасту животиња, репродукцији и њиховом метаболизму. *Хормон пораста* стимулише RNA и синтезу протеина. Лактогени хормони иницирају и одржавају лактацију, а хормони који стимулишу тиреоидеу (TSH), побољшавају производњу хормона тиреоиде. Инсулин и глукагон су хормони панкреаса, који регулишу ниво глукозе у крви.

Структурни протеини поред својих основних функција служе и као матрикс за депоновање материја, као што су минерали или стварају различите мембране које служе за задржавање или заштиту од спољашње средине.

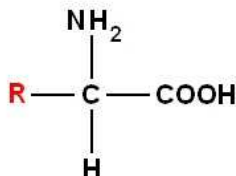
Чињеница да протеини обављају тако бројне и важне биолошке функције, објашњава њихов огроман значај у исхрани животиња. Њихова улога ензима и хормона, у ацидо-базној равнотежи, транспорту хранљивих материја, контракцији мишића, имунолошким реакцијама, захтева и одређени однос при њиховој формулацији у оброцима животиња.

Квалитет протеина у хранивима. Различита хранива и смеше концентрата са истом количином протеина, могу имати потпуно различиту протеинску вредност у исхрани. За протеине у оваквим хранивима каже се да имају различит квалитет протеина. Ово је делимично због недостатка одређених протеина или изразито ниског нивоа једне или више есенцијалних аминокиселина. Протеини хране високог квалитета (високе хранљиве вредности) обезбеђују животињу са адекватним количинама потребних аминокиселина. Овакви протеини укључују не само есенцијалне аминокиселине, већ и довољне количине неесенцијалних или одговарајуће изворе азота, за формирање ових киселина. Поред тога што ове аминокиселине морају бити присутне у храни, оне морају бити сварљиве и поседовати могућност апсорпције. Брзина којом се ослобађају ове аминокиселине из протеина у интестиналном тракту и апсорбују, такође, утиче на квалитет протеина. На пример, загревање сировог зрна соје не утиче на садржај есенцијалних аминокиселина. Међутим, загревање различито утиче на брзину ослобађања леуцина, лизина и метионина, а тиме и на квалитет протеина. Третирање протеина сувише високим температурама смањује доступност појединих аминокиселина (аргинин и лизин) при деловању ензима. У неким случајевима може доћи и до потпуног уништавања хранљиве вредности аминокиселина, због реакције са угљеним хидратима, а то значи и смањења квалитета протеина.

Исхрана са протеинима лошег квалитета, доводи до великих губитака азота, у форми уреје, као и лошег искоришћавања аминокиселина за синтезу телесних протеина, хормона, ензима, пурина и др. Стога, квалитет једног протеина зависи од аминокиселина које садржи, брзине њиховог ослобађања и апсорпције из интестиналног тракта. Укупна количина протеина у храниву није право мерило његове протеинске вредности.

3.4.2. АМИНОКИСЕЛИНЕ

Аминокиселине су основне структурне јединице протеина. Настају при хидролитичкој разградњи протеина, под утицајем ензима, киселина или база. До сада је из различитог биолошког материјала изоловано преко 200 различитих аминокиселина. Међутим, само 20-так њих су компоненте протеина. Аминокиселине садрже по једну карактеристичну *амино* ($-\text{NH}_2$) и *карбоксилну* ($-\text{COOH}$) групу. Већина аминокиселина, које се јављају у протеинима су α -типа, чија је amino група везана за атом угљеника непосредно до карбоксилне групе. Аминокиселине се могу представити општом формулом:



Једини изузетак је пролин, који има једну *имино* (NH), уместо једне amino групе (NH_2). Све аминокиселине, са изузетком глицина, имају један асиметричан атом угљеника. Аминокиселине које спадају у Л-серију, најчешће су присутне у протеинима и, са неколико изузетака, само ову форму животиње могу користити за своје метаболичке потребе. Синтетичке аминокиселине обично се срећу као

рацемичне смеше Л- и Д-изомера. То је чињеница коју треба имати у виду при употреби ових аминокиселина, као додатака храни за животиње.

Аминокиселине су међусобно повезане пептидним везама и тиме настаје ланац који се назива *полипептид*. Врсте аминокиселина, присутних у молекулу протеина, њихова релативна количина и секвенца, јединствени су за сваки од протеина.

Пошто су молекули протеина велики и не могу проћи кроз зид црева, претходно се морају хидролизовати до аминокиселина. Аминокиселине ослобођене у гастроинтестиналном тракту, апсорбују се кроз мукозу црева, затим улазе у крв и њоме доспевају у телесна ткива где се уграђују у протеине животињског организма. То значи да животиње немају потребе за протеинима хране, већ у аминокиселинама које се добијају као производ разградње протеина. Дакле, хранљива вредност протеина хране зависи од процента сварених и доступних аминокиселина.

Подела аминокиселина

Све аминокиселине, значајне за исхрану животиња, спадају у следеће три групе: *алифатичне, ароматичне и хетероцикличне*.

I. Алифатичне:

A. Моноамино–монокарбонске (неутралне)

Глицин
Аланин
Серин
Валин
Леуцин
Изолеуцин
Треонин

Б. Моноамино–дикарбонске

Аспарагинска киселина
Глутаминска киселина

Ц. Диамино–монокарбонске (базне)

Лизин
Хидроксизин
Аргинин

Д. Аминокиселине са сумпором

Метионин
Цистин
Цистеин

II. Ароматичне

Фенилаланин
Тирозин
Триптофан
Хистидин

III. Хетероцикличне

Пролин
Хидроксипролин

Реакција амино групе једне аминокиселине са карбоксилном групом друге киселине, доводи до стварања једињења познатих под именом пептиди. Две аминокиселине тако везане дају *дипептиде*, три аминокиселине дају *трипептиде*, а већи број везаних киселина дају *полипептиде*. Пептиди су растворљиви у води и, супротно већини протеина, у растворима соли, али се не коагулишу под дејством температуре. Пошто пептиди имају слободне амино и карбоксилне групе, особине и реаговање ових је исто као и аминокиселина.

Значај аминокиселина у исхрани животиња. Хранљива вредност протеина хране зависи од аминокиселина, које се из ових ослобађају у току процеса варења. Са аспекта њиховог значаја у исхрани, све се аминокиселине могу поделити у две групе: *есенцијалне и неесенцијалне*.

Есенцијалне аминокиселине се не могу синтетизовати у организму у количини која обезбеђује физиолошке потребе, стога морају бити унете храном. Организам може синтетизовати аминокиселине трансформацијом амино група у одређене интермедијарне производе метаболизма угљених хидрата или конверзијом неких есенцијалних аминокиселина у одређене неесенцијалне киселине, као што је трансформација метионина у цистин или фенилаланина у тирозин. Супротне реакције у животињском организму, међутим, нису могуће. У принципу, неесенцијалне аминокиселине могу бити синтетизоване у ћелијама, коришћењем неспецифичних извора амино азота (глутаминска киселина, диамонијум цитрат). Међутим, смеша неесенцијалних аминокиселина, заједно са есенцијалним аминокиселинама, ефикасније се користи од смеше есенцијалних аминокиселина са једном неесенцијалном аминокиселином или амонијумовим солима.

Већина есенцијалних аминокиселина може бити замењена њиховим одговарајућим α -кето или α -хидрокси аналозима, са изузетком лизина и треонина. У ствари, хидрокси аналог метионина може се користити као хранљиви додатак оброцима животиња.

Неприродни Д-антипод метионина у исхрани животиња, користи се са истом ефикасношћу као и Л-изомер, пошто се овај трансформише у Л-изомер у току ензимских процеса у телесним ткивима. Тако, синтетички метионин, који представља смешу истих количина оба антипода, може се препоручити за коришћење у смешама концентрата. Способност за трансформацију Д- у Л-антипод, не може се применити на друге есенцијалне аминокиселине, а нарочито не на треонин и лизин. Л-лизин, добијен микробиолошким синтезом, представља чист Л-лизин и веома је погодан за исхрану животиња.

Листа есенцијалних и неесенцијалних аминокиселина показује извесне разлике између појединих врста животиња. Утврђено је да аргинин, у случају пацова, представља специфичан случај. Пацови могу синтетизовати аргинин, али не и довољно брзо да би се обезбедиле потребе за њихов максималан пораст. Међутим, на одрасле пацове нема утицаја одсуство аргинина у obroку.

Потребе свиња у аминокиселинама, сличне су потребама пацова. Супротно од сисара, аргинин је есенцијална аминокиселина за пилиће. Глицин игра специфичну улогу у живине, која лучи мокраћну киселину као коначни производ метаболизма азота, пошто формирање мокраћне киселине захтева глицин. Међутим, способност за синтезу глицина у пилића у порасту, не може задовољити потребе за максималан пораст.

Аминокиселине глицин, серин, глутаминска киселина и пролин су *семиесенцијалне* (полуесенцијалне) аминокиселине за пораст пилића. Серин и глицин су међусобно заменљиве киселине, пошто се серин лако трансформише у глицин, унутар телесних ткива. Семиесенцијалне аминокиселине нису неопходне за преживљавање животиња, али су потребне у obroку за оптималан пораст животиња. Због тога, обезбеђење семиесенцијалних аминокиселина у практичним оброцима за пилиће, од истог је значаја као и обезбеђење есенцијалних (табела 26).

Одрасли преживари умногоме су независни од присуства есенцијалних аминокиселина у obroку, пошто микроорганизми румена синтетизују есенцијалне аминокиселине, потребне животињи домаћину. Изузетак од овога су једино животиње са високом производњом (јунад са интензивним порастом, краве високе млечности).

Табела 26. Подела аминокиселина са аспекта утицаја на пораст пилића.

Есенцијалне	Семиесенцијалне	Неесенцијалне
Лизин	Глутаминска киселина	Аланин
Триптофан	Глицин или серин	Тирозин
Хистидин	Пролин	Аспарагинска киселина
Фенилаланин	Цистин	
Леуцин	Хидроксипролин	
Изолеуцин		
Треонин		
Метионин		
Валин		
Аргинин		

Хранљива вредност протеинских хранива зависи, углавном, од њиховог аминокиселинског састава. Пошто је већина хранива за исхрану непреживара високо сварљива, то су и аминокиселине присутне у њима доступније. Аминокиселински састав оброка треба што више приближи потребама животиња, а да при томе однос есенцијалних и неесенцијалних аминокиселина буде око 1:1. Аминокиселински састав високо квалитетних протеинских хранива биљног порекла, не разликује се умногоме од животињских протеина. Аминокиселински састав најзначајнијих хранива је приказан у табели 27. Ова биљна хранива могу бити дефицитарна у погледу садржаја једне или две есенцијалне аминокиселине. Због тога, потребан ниво аминокиселина у obroку животиња може се постићи одговарајућом комбинацијом два или више врста биљних протеина. Нпр. протеини у зрну житарица су дефицитарни у лизину, стога се зрно соје односно сојина сачма обично додају зрну кукуруза ради обезбеђења потреба животиња у лизину. Основна разлика између биљних и животињских хранива је у садржају витамина Б₁₂, присутног у животињским хранивима и његово одсуство у биљним. Оброци непреживара, дефицитарни у есенцијалним аминокиселинама, могу се обезбедити додавањем синтетичких аминокиселина, као што су метионин и лизин.

Табела 27. Аминокиселински састав најзначајнијих хранива (Evonik Industries, 2010).

Храниво	Лизин %		Метионин %		Цистин %		Треонин %		Триптофан %	
	опсег	просек	опсег	просек	опсег	просек	опсег	просек	опсег	просек
Кукуруз	0,14-0,37	0,24	0,11-0,24	0,16	0,13-0,24	0,18	0,22-0,39	0,29	0,04-0,08	0,06
Пшеница	0,24-0,54	0,33	0,12-0,27	0,18	0,17-0,37	0,26	0,23-0,50	0,34	0,10-0,22	0,15
Јечам	0,27-0,58	0,39	0,11-0,26	0,18	0,13-0,34	0,23	0,23-0,52	0,36	0,09-0,18	0,13
Сојина сачма, 44%	2,32-3,05	2,73	0,52-0,69	0,61	0,51-0,74	0,64	1,52-1,97	1,75	0,52-0,66	0,61
Соја, зрно	1,81-2,59	2,21	0,37-0,59	0,48	0,41-0,64	0,53	1,16-1,60	1,4	0,41-0,57	0,48
Сунцокрет. сачма, 32%	0,67-1,63	1,12	0,48-1,08	0,7	0,35-0,86	0,52	0,81-1,75	1,16	0,27-0,66	0,41
Луцерка, дехидрирана	0,41-0,91	0,73	0,14-0,27	0,21	0,12-0,23	0,16	0,42-0,83	0,65	0,24-0,33	0,27
Рибље брашно	1,58-5,99	4,04	0,59-2,29	1,50	0,19-0,91	0,48	1,07-3,23	2,30	0,23-0,87	0,57

3.4.3. NPN ЈЕДИЊЕЊА

До сада је идентификован велики број непротеинских азотних једињења (NPN) у хранивима намењеним животињама (табела 28). Најзаступљеније међу њима су

слободне аминокиселине, које нису везане у неки облик протеина. Амино азот из тих аминокиселина може представљати и до 50% непротеинског азота и 1/3 од укупног азота у неким хранивима. Поред тога, *амиди*, *нитрати*, *амонијумове соли*, *пурины* и *пиримидини* могу, сваки појединачно, чинити неколико процената од укупне NPN фракције.

Слободне аминокиселине се јављају у лишћу биљака у интензивном порасту и у првој фази развоја семена. Због ране фазе развоја, када се биљке убирају, као и процеса ферментације, слободне аминокиселине се јављају у прилично великој количини у силажи. Глицин, аланин, глутаминска и аспарагинска киселина, чине највећи део аминокиселина у биљкама, мада аспарагин и глутамин, амиди аспарагинске и глутаминске киселине, чине велики део NPN једињења. Ово је, вероватно, у вези са њиховом улогом у реакцијама трансаминације, везаним за синтезу протеина. Мало NPN једињења има у производима зрелих биљака, као што је семење и њихови производи.

Нитрати и NH_3 се могу срести у биљкама у прилично великим количинама, а у зависности од врсте биљака, ђубрења и других услова. Тровање нитратима утврђено је приликом исхране говеда хранивима која садрже велике количине ових материја. Мада се уреја јавља у великом броју хранива, ипак постоји интерес да се са њом у исхрани одраслих преживара замени један део протеина хране. Захваљујући способности неких ензима микроорганизама да разлажу уреју и ослобађају NH_3 , а затим овај користе за синтезу протеина, урејом се може обезбедити део потреба преживара у протеинима.

Амини су азотне базе које настају декарбоксилацијом аминокиселина. Њихов хранидбени значај произилази, пре свега, из њихових токсичних својстава, као и малих количина које испољавају велики физиолошки ефекат. Физиолошка активност хистамина, триптамина и тирамина веома је добро позната.

Табела 28. Садржај NPN једињења у различитим хранивима (Kirchgessner, 1978).

NPN једињења	Зелена трава	Зелена луцерка	Зрно кукуруза
Укупан N (% од СМ)	3,0	2,8	1,4
Једињења N (% од N):			
Пептиди и слободне аминокиселине	13,9	18,5	1,16
NH_3	1,0	0,6	0,07
Амиди	2,9	2,6	
Холин	0,5	0,1	0,12
Бетаин	0,6	1,1	0,01
Пурины	2,2	1,3	0,05
Нитрати	2,4	0,3	
Друга NPN једињења	6,4	3,5	0,59

Следећа NPN једињења присутна у ткивима животиња и њиховим екскретима су *уреја*, *мокраћна киселина*, *креатин* и *хипурна киселина*. Кабаста хранива (зелена, сено, силажа) садрже значајне количине NPN једињења. Различита семена и концентрована хранива биљног порекла, садрже веома мале количине ових једињења. Ова једињења чине 10-15% укупног азота, који је присутан у зеленим кабастим хранивима. Овај проценат је већи у коренастим хранивима. Слободне аминокиселине и амиди представљају најважнија једињења NPN у зеленим

биљкама. Концентрација слободних аминокиселина висока је у младим биљкама у интензивном порасту, а опада са старењем биљака. Садржај NPN једињења нарочито је висок у силажи и чини до 50% од укупног азота. Ово је делимично због раног убирања биљака за спремање силаже, а делом као последица трансформације протеина у силираној маси. Протеазе биљака у силираним хранивима врше хидролизу протеина до аминокиселина, а даља разградња ових иде у правцу формирања амина и NH_3 .

Слободне аминокиселине ефикасно се користе од стране свих врста животиња, док су једино преживари способни да користе и друга NPN једињења. Пошто непреживари не користе већину NPN једињења, хранива за ове врсте животиња обично не садрже ове материје.

Уреја као извор азота за преживаре. Бројни огледи су показали да азот из уреје може успешно заменити део азота протеина хране у оброцима преживара. Уреја се у румену веома брзо разграђује до NH_3 и CO_2 деловањем уреазе бактерија румена. Исто као при исхрани са лако растворљивим протеинима, до брзог ослобађања NH_3 долази и при коришћењу уреје. При оваквим условима долази до апсорбовања великих количина NH_3 у крв, када услови нису оптимални за његово коришћење од стране бактерија за синтезу протеина. Оптимални услови за коришћење уреје захтевају оброк са релативно малим садржајем азота и богатим у скробу. У оваквим условима исхране, уреја може заменити 1/4 - 1/3 укупне количине азота у obroку. Због брзог ослобађања NH_3 из уреје и његовог негативног утицаја на укус obroка, бројна испитивања су изведена у циљу изналажења таквих NPN једињења из којих се NH_3 споро ослобађа. Амонизирана су различита хранива и разрађени методи исхране преживара са урејом. Међутим, уреја и даље остаје као најважнији извор NPN у исхрани преживара.

Тровање животиња нитратима и гликозидима. Нитрати унети у румен са кабастим хранивима (кукуруз, овас, луцерка, сирак), веома брзо се редукују у токсичне *нитрите*. Даља редукција нитрита у NH_3 , зависи од нивоа лако доступних угљених хидрата у румену. Под оваквим условима исхране, концентрација нитрита може достићи висок ниво у румену. При апсорпцији нитрита у крв, долази до конверзије хемоглобина у метхемоглобин, код којег је дошло до редукције фери у феро облик гвожђа, које не могу служити као носач кисеоника. Ово доводи до појаве акутних симптома интоксикације, који укључују дрхтање, убрзано дисање, тетурање и на крају угинуће животиње.

До тровања *цијанидима* долази зато што одређена хранива садрже цианогене гликозиде, заједно са гликозидима који затим ослобађају HCN. Ово представља посебан аспект метаболизма N у преживара. У овакве гликозиде спада *дурин*, у зеленом лишћу неких варијетета сирка, добијених после слане или периода суше. *Линамарин* у семену лана и *лотаустралин* у белој детелини, могу бити присутни у токсичним количинама. За праксу је од значаја да ове компоненте нису токсичне пре хидролизе и ослобађања HCN. Мада румен може да детоксикује ослобођени HCN, преко формирања *тиоцианата*, брза апсорпција HCN може довести до тровања, па чак и угинућа животиња. Инактивирање ензима термичким третманом, смањује опасност од тровања животиња.

Метаболизам протеина у организму животиња

У дигестивном тракту животиња протеини хране највећим делом се хидролизују до аминокиселина. Метаболизам протеина је, пре свега, метаболизам

аминокиселина. Формиране аминокиселине затим се апсорбују кроз зид црева у портални крвни систем, којим доспевају до јетре. Део њих служи за синтезу протеина јетре или плазма протеина, док преостали део циркулише крвљу. Протеини телесних ткива су подвргнути сталној разградњи до аминокиселина, које, такође, циркулишу крвљу, заједно са аминокиселинама хране и служе за анаболичке и катаболичке потребе организма.

Амино група може бити одвојена од угљениковог ланца аминокиселине и употребљена за синтезу других азотних, непотеинских материја, као што су пурини, креатин или холин, или за синтезу уреје или мокраћне киселине. Преостале α -кето киселине, након дезаминације могу се оксидисати до CO_2 и H_2O преко циклуса трикарбонских киселина.

3.4.4. МЕТАБОЛИЗАМ ПРОТЕИНА У НЕПРЕЖИВАРА

Ћелије желуца луче хлороводоничну киселину, чија је основна улога денатурација протеина хране, затим активирање пепсиногена у активни пепсин и обезбеђење одређеног рН за варење протеина, деловањем пепсина. Пепсин је ендопептидаза и првенствено делује на унутрашње пептидне везе протеина. Након тога, пептиди постају лако доступни за даље варење посредством протеиназа. Пепсин доводи и до грушања млека, слично деловању ренина. Ренин лучи слузокожа желуца новорођених сисара, а нарочито преживара. Поред пепсина неколико других протеолитичких ензима среће се у желудачном секрету неких врста животиња. Они се називају пепсиногени В, С и Д и гастрицин.

Многи од протеина хране, када дођу у органе за варење животиња, прво морају бити денатурисани, ради разградње тродимензионалне форме и експонирања пептидне везе деловању ензима. Нпр. у мишићном желуцу пилића и желуцу свиња, кисели услови њиховог садржаја доводе до денатурације протеина и излагања веза осетљивих на деловање пепсина, посебно у случају протеина који имају слободне SH групе.

Хлороводонична киселина, заједно са пептидима, доспева у дуоденум и изазива лучење хормона *секретина* и *панкреозимина* од стране мукозе црева. Секретин стимулише секрецију панкреаса, чији је секрет богат бикарбонатима. Панкреозимин стимулише секрецију течности богате у прекурсорима протеиназа. Овде спадају трипсиноген, трихимотрипсиногена, две прокарбоксипептидазе и проеластаза. Трипсиноген (са 249 аминокиселина) трансформише се у трипсин, уклањањем једног хексапептида. До овога доводи интестинални ензим ентеропептидаза. Пепсин, који се затим добија, аутокаталитички активира трипсиноген у трипсин, химотрипсиноген у химотрипсин. Трипсин врши хидролизу пептидних веза, укључујући карбонилне групе аргинина и лизина. Химотрипсин хидролизује везе у аминокиселинама фенилаланину, тирозину, леуцину, хистидину, метионину и триптофану.

Аминокиселине које стварају ацетил-СоА или ацетосирћетну киселину, називају се *кетогене*. Најпознатија од њих је леуцин. Неке аминокиселине могу бити гликогене и кетогене.

У погледу апсорпције, аминокиселине испољавају конкурентан однос међу собом. Тако, нпр. леуцин инхибира апсорпцију валина и изолеуцина, а вишак леуцина може представљати озбиљан депресивни фактор за пораст живине у случају када се храни не додају валин и изолеуцин. Вишак лизина, такође, значајно повећава потребе у аргинину. Метионин инхибира активни транспорт неколико других аминокиселина, а при високим нивоима у obroку испољава веома јак

депресивни утицај. Друге аминокиселине испољавају токсичан ефекат при високим нивоима у оброку. Сувишно конзумирање фенилаланина и тирозина инхибира пораст пацова. Фруктоза и галактоза у цревима, такође, инхибирају апсорпцију аминокиселина, а дефицит витамина Б₆ у значајној мери смањује брзину апсорпције аминокиселина.

Слободне аминокиселине основни су производ варења протеина, али поред њих могу се апсорбовати и мање количине пептида. Такође и протеини, као антитела из колострума, могу бити апсорбовани у дигестивном тракту младунаца сисара. Концентрација аминокиселина у ткивима животиња је за 5 до 10 пута већа него у крвној плазми. То значи да је активни транспорт аминокиселина неопходан, како би апсорбоване аминокиселине доспеле до ћелија, супротно концентрацији. Јетра располаже великим капацитетом за пријем аминокиселина, а различита ткива, у том погледу, имају различиту способност. Било која од познатих аминокиселина може бити употребљена за једну од следећих намена:

- за синтезу нових аминокиселина и протеина, потребних за пораст или замену дотрајалих ткива,
- за синтезу ензима, хормона или антитела,
- за изградњу NPN материја, као што су креатин, нуклеинске киселине и холин,
- за формирање безазотних материја, које могу бити употребљене за формирање супстанци као што су угљени хидрати и масти, или се могу оксидисати ради производње енергије.

Синтеза уреје. Коначни производи метаболизма аминокиселина, значајно се разликују у различитих врста животиња. Најдоминантнији коначни производ метаболизма аминокиселина у сисара је уреја, заједно са малим количинама NH₃, креатинина, мокраћне киселине и других материја. Уреја се синтетизује из CO₂ и NH₃. Најважнији извори NH₃ укључују оксидативну и неоксидативну деаминацију аминокиселина и хидролизу глутамин и аспарагина. Пошто је NH₃ токсичан, релативно велике количине овако произведеног NH₃ бивају брзо детоксификоване у јетри конверзијом у уреју.

У оброку сисара са нормалним садржајем протеина, 80-90% коначних производа азотног порекла отпада на уреју. У оброцима са ниским садржајем протеина, до 1/3 може отпадати на друге коначне производе. При одређеном нивоу азота у оброку, свако опадање садржаја уреје доводи до пораста количине NH₃. Ниво екскреције NH₃ у урину, у основи се заснива на потреби контроле електролита и ацидо-базне равнотеже у организму. Такође, повећање нивоа протеина у оброку доводи до повећања формирања киселина, због оксидације Р и S из протеина. Овакво стање у организму животиња доводи до лучења NH₃. Живина као производ метаболизма аминокиселина излучује мокраћну киселину.

Биосинтеза аминокиселина. Од 20 аминокиселина најчешће присутних у организму животиње, око 9 се може синтетизовати у организму, нарочито у ћелијама јетре. Угљеников скелет неесенцијалних аминокиселина може се формирати од угљених хидрата, масти или есенцијалних аминокиселина. α-амино група, присутна у синтетизованим аминокиселинама, настаје из амонијумових јона или аминок група других аминокиселина.

Обезбеђење непреживара потребним количинама аминокиселина

Неадекватна исхрана протеинима много је чешћа од недостатка других материја. Знаци недостатка протеина у оброку, укључују смањено узимање и искоришћавање хране, смањен пораст животиња, неплодност, смањење концентрације протеина у крвном серуму, нагомилавање масти у јетри и оствареном прирасту, смањење синтезе одређених ензима и хормона. Приликом конзумирања минималних дневних количина есенцијалних аминокиселина, оне морају бити у одређеним специфичним односима. Нпр. један одређени протеин, присутан у телесним ткивима, може бити синтетизован само до количине коју дозвољава есенцијална аминокиселина са најмањом количином у оброку. Ова аминокиселина се зове *лимитирајућа аминокиселина*. Друге аминокиселине, присутне изнад одређеног односа, не користе се за синтезу протеина и бивају оксидоване ради добијања енергије. Ослобођени азот излучује се урином.

За економично коришћење синтетичких аминокиселина, веома је важно знати укупне потребе у одређеној аминокиселини и релативне односе у храни животиња. Ефикасност коришћења једне аминокиселине зависи од нивоа других киселина у оброку. Нпр. такав међусобни однос постоји између потреба у метионин + цистин и нивоа лизина у оброку. Потребе у метионин + цистин износе 0,8%, а у лизину 1,0%. Када обезбеђеност са лизином износи само пола од стварних потреба (0,5% у оброку), у том случају пилићи су способни да искористе само 0,4% метионин + цистин.

При обезбеђењу потреба пилића у метионину важно је знати да метионин може заменити цистин, али не и супротно. Потребе у метионину износе 0,45%, а потребе у метионин + цистин износе 0,8%. Ако је количина цистина у оброку неадекватна, метионин може подмирити потребе у цистину. У експериментима је утврђено да оброци који садрже 0,45-0,80% метионина, могу бити комплетирани додавањем цистина или метионина, а да је ниво ових аминокиселина које садрже сумпор, порастао на 0,8%. Међутим, ефикасност коришћења оброка који садрже 0,8% метионина оптимална је и не може се даље побољшавати накнадним додавањем метионина или цистина оброку.

Следећи пример зависности две аминокиселине односи се на зависност потреба у аргинину од садржаја лизина у оброку. При вишку лизина у оброку, долази до депресије у конзумирању хране и смањења пораста, који се може кориговати увођењем аргинина у оброк. Ово се може приписати повећаним губицима аргинина урином или повећаној ензимској разградњи аргинина у организму, изазваним вишком лизина. Ниво аргиназе, ензима који врши деградацију аргинина у пилића, повећан је у бубрезима у случају када су пилићи добијали вишак лизина у храни.

Метаболички и ендогени азот

Метаболички азот. Количина и састав аминокиселина у химусу црева не зависи само од количине аминокиселина унетих храном, већ и ендогене секреције протеина у организму. Ова фракција се састоји од ензима за варење и мукопротеина у соковима за варење излучених у алиментарни тракт, те ољуштених ћелија мукозе и албумина крви излучених у лумен црева. Мада је сварљивост ендогених протеина прилично ниска, његове несварљиве компоненте излучују се фецесом и називају *метаболички протеин*. Аминокиселине, ослобођене активношћу ензима за варење из ендогених протеина, користе се заједно са аминокиселинама из егзогених извора хране и могу допунити аминокиселине из хране. Удео ендогене фракције у укупном

садржају протеина у цревима, варира у зависности од врсте животиња и чини до 50% у живине, а 20-80% у свиња.

Ендогени азот. Коначни производи катаболизма телесних протеина и протеина хране, излучују се урином. Протеини телесних ткива стално се разграђују и замењују новим. Нпр. аминокиселина настала разградњом протеина јетре биће уграђена у протеине мишића, а могуће је и супротно. На тај начин, телесни протеини замењују аминокиселине између себе. Поновна употреба аминокиселина, ослобођених из ткива, није потпуно ефикасна и те аминокиселине које се не користе за биосинтезу, разграђују се уз ослобађање амино азота, који се на крају излучује урином у форми уреје. Количина азота излучена у току једног дана урином, у животиња на оброку без азота, али адекватном у осталим материјама, назива се *ендогени азот урина*. Метаболички азот фецеса, пореклом је из телесних извора.

Очигледно је да организам не може дуже времена издржати овај стални губитак ендогеног и метаболичког азота. Овај губитак се мора надокнадити протеинима хране како би се одржао интегритет телесних ткива. При додавању протеина оброцима без азота, количина излученог азота у урину се повећава због делимичне разградње апсорбованих аминокиселина из хране које нису уграђене у телесне протеине. Количина азота излучена у урину, изнад ендогеног азота (кога излучи животиња храњена оброком без азота), назива се *егзогени азот*, пошто ова фракција азота води порекло од унетих протеина хране. Тачна разлика између ендогеног и егзогеног азота не може се јасно повући пошто у организам унети протеини изазивају пораст промета протеина, доводећи тако до пораста екскреције укупне количине азота, који потиче од разградње телесних протеина.

Биланс азота. Укупан метаболизам протеина у организму животиња може се сажето приказати билансом азота. Биланс азота представља разлику између храном унетог и излученог азота из организма:

$$B = I - (U + F)$$

где В означава биланс, I унету количину азота, U и F азот излучен урином и фецесом. За прецизно одређивање биланса азота, потребно је утврдити и количину азота која се губи са отпалом длаком, перјем или копитама и папцима, и додати излученом азоту. Биланс N може бити *позитиван* (количина унетог је већа од количине излученог азота), као што је случај у животиња у порасту и гравидних животиња или животиња које се опорављају од болести. Затим, биланс може бити *негативан* (излучени азот прелази количину унетог азота), као што је случај са оброцима дефицитарним у протеинима, у животиња које гладују и болесних животиња. Биланс азота може бити и *уравнотежен* или *нулти*, када је количина унешеног азота једнака количини излученог азота.

Телесне резерве у протеинима. Поред животиња у порасту и оних које производе, и одрасле животиње које не производе, такође, могу имати позитиван биланс азота, када уносе у организам сувишне количине протеина. Умерени вишак протеина, може бити усвојен од стране животиња, независно од њихове функције и старости, док количине које прелазе одређени лимит, бивају оксидоване и излучене из организма. Мали вишак протеина у организму, депонује се у форми резерви у различитим органима (јетра, мишићи и др.). Ови протеини су лабилни, те се у периоду гладовања или дефицитарне исхране у протеинима могу лако користити, а

поново повратити обилном исхраном. Међутим, од мањег је метаболичког значаја, постојање протеинских него енергетских резерви (триглицериди или гликоген), које су депоноване у великим количинама у специфичним органима.

3.4.5. МЕТАБОЛИЗАМ ПРОТЕИНА У ПРЕЖИВАРА

Велики део протеина присутних у зеленим биљкама је растворљив, као што су и протеини у зрну житарица. У току спремања сена, долази до денатурације великог дела ћелијских протеина, тако да ови постају веома нерастворљиви. Исто се догађа и у процесу производње уљаних сачми на високим температурама. Овакви фактори утичу на варење протеина од стране микроорганизама. Аминокиселине и пептиди, настали као интермедијарни производи варења у румену, могу се користити за синтезу микробијалних протеина или се брзо разграђују у амонијак, CO_2 и испарљиве масне киселине. Амонијак је најважнији извор азота за један број бактерија румена, чак и када оброк садржи адекватне количине аминокиселина и пептида за синтезу микробијалних протеина, велики део аминокиселина се разграђује до NH_3 , CO_2 и киселина посредством деаминаза микроорганизама. Поред тога, утврђено је да неке од бактерија румена имају потребе у одређеним аминокиселинама. Такође, потребан је угљеников ланац, као и одређена количина доступног сумпора. Само неколико врста бактерија укључено је у катаболизам протеина, али је обим и брзина деаминације под великим утицајем количине лако сварљивих протеина хране.

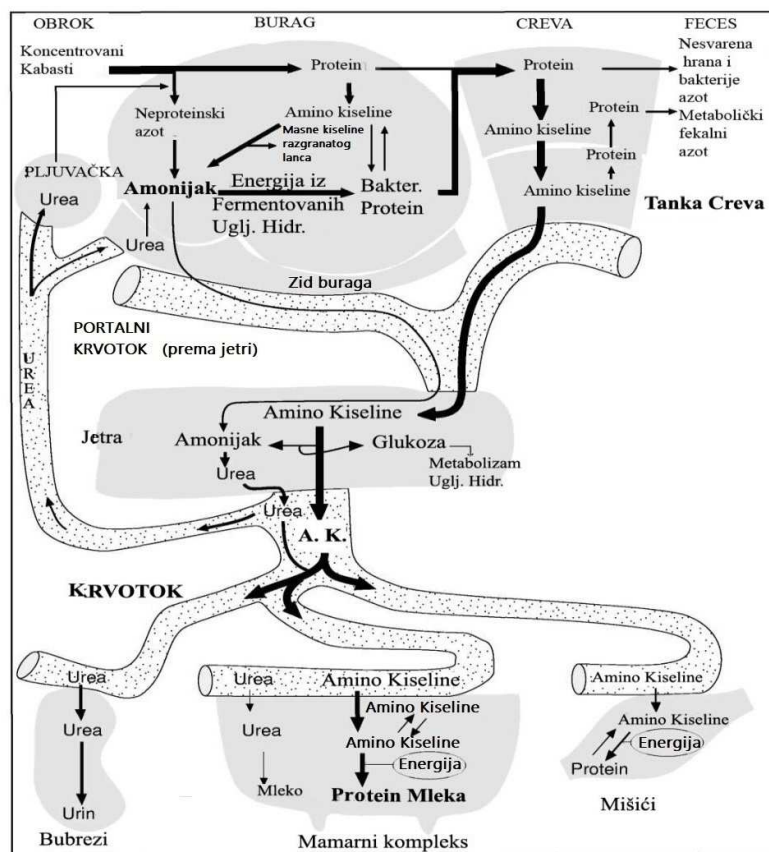
У румену преживара аминокиселине валин, леуцин и изолеуцин дају изобутерну, изовалеријанску и 2-метил бутерну киселину. Ове киселине су потребне за раст и функцију неких бактерија румена. Са изузетком NH_3 , који се уграђује у протеине микроорганизама, редовно долази до великих губитака у азоту. Величина ових губитака зависи од брзине производње NH_3 у румену и количине која ће бити уграђена у протеине микроорганизама. Оброци богати у лако растворљивим протеинима, а сиромашни у лако доступним угљеним хидратима, доводе до производње великих количина NH_3 , његовог малог коришћења и повећања губитака у азоту. Обилно ђубрење земљишта, повећава садржај протеина у зеленим хранивима, а смањује садржај растворљивих угљених хидрата. Исхрана са оваквим хранивима може имати одређеног утицаја на ниво NH_3 у румену.

Због присуства и активности бројних микроорганизама у румену, модел искоришћавања протеина хране у преживара значајно се разликује од непреживара (слика 11). Микроорганизме румена карактерише велики потенцијал за синтезу свих аминокиселина, укључујући и есенцијалне. Захваљујући овоме, одрасли преживари умногоме су независни од квалитета протеина хране. Део азота у оброцима преживара може бити у форми једноставних азотних једињења, као што су то амонијачне соли или уреја. Искоришћавање протеина хране у организму преживара, одвија се на следећи начин:

- при пролазу хране кроз румен, деловањем протеаза микроорганизама, велики део протеина бива деградиран до пептида. Формирани пептиди затим се разграђују до слободних аминокиселина, а касније до NH_3 , масних киселина и CO_2
- производи деградације у румену, а нарочито NH_3 , користе се од стране микроорганизама у присуству адекватних извора и облика енергије (угљених хидрата) за синтезу протеина и других састојака ћелије, као што су компоненте ћелијских зидова, које садрже азот и нуклеинске киселине

- део формираног NH_3 у румену, микроорганизми не могу фиксирати, због чега бива апсорбован у крв, а потом у јетри трансформисан у уреју, од чега се већи део не користи за потребе организма, већ бива излучен у урин
- ћелије микроорганизама (бактерија и протозоа) садрже протеине као најважнију компоненту и заједно са непромењеним протеинима хране из ретикуло-румена, преко омазума и абомазума, доспевају у танка црева. Од укупне количине протеина оброка, део који бива разграђен у румену, показује значајна варирања и креће се од 70-80% у већини оброка, односно до 30-40% у обrocима са мање растворљивим протеинима.

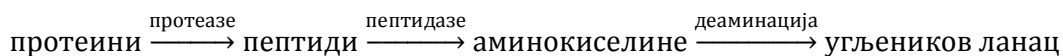
Количина разграђеног протеина зависи од дужине задржавања у румену и нивоа исхране. Варeње и апсорпција протеина микроорганизама и протеина хране, одвија се у танким цревима преживара и има сличан ток као у непреживара. Протеини микроорганизама и неразграђени протеини хране варе се активношћу протеаза у танким цревима. Ензими и други ендогени протеини излучени у црева, такође, бивају сварени. Аминокиселине пореклом из протеина микроорганизама, затим из хране и ендогени протеини, доприносе протоку апсорбованих аминокиселина из црева у крв и телесна ткива. Аминокиселине, које се сматрају есенцијалним за преживаре, готово су исте и за непреживаре. Преживари су зависни од протеина микроорганизама и протеина хране, који избегавају варење у румену, у погледу њихове обезбеђености са есенцијалним аминокиселинама.



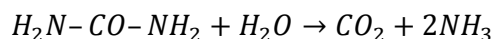
Слика 12. Метаболизам протеина у преживара (на основу Wattiaux, 1998).

Деградација протеина у румену. Око 40% бактерија румена испољавају протеолитичку активност. Протеазе бактерија румена везане су за ћелију, али су лоциране на површини ћелије и тако слободно могу деловати на хранљиви супстрат. Протозое у румену поседују веома активне интрацелуларне протеазе. Ови ензими испољавају своју активност при вредности рН од 6-7. Коначни производи разградње протеина су NH_3 , испарљиве масне киселине и CO_2 .

Деаминација формираних аминокиселина је значајна, као што је формирање *изобутирата* из валина. Друге разгранате испарљиве масне киселине, које настају у румену, у току ензимске разградње су: изовалеријанска киселина која настаје из изолеуцина, а 2-метилбутерна киселина из леуцина. Присуство разгранатих масних киселина у садржају румена је важно пошто оне служе као фактори пораста за микроорганизме, а и као прекурсори за формирање разгранатих масних киселина дугог ланца. Важно је напоменути да мала количина испарљивих масних киселина у румену, као што су сирћетна, пропионска и бутерна, настају разградњом аминокиселина. Највећи део ових испарљивих масних киселина потиче из угљених хидрата. Поред тога, микробиолошка разградња неких аминокиселина (цистеин, глутаминска киселина и серин), доводи до формирања пирогрођане киселине која се трансформише у сирћетну, пропионску и бутерну киселину.



Биосинтеза протеина у румену. Амонијак је најважнија форма азота коју користе бактерије румена. Бактерије румена га искоришћавају у присуству адекватних количина хранљивих материја, а пре свега растворљивих угљених хидрата за синтезу аминокиселина неопходних за изградњу властитих протеина. Од укупне количине микробиолошког азота у румену, око 50 до 80% пореклом је од NH_3 . Испитивања са изотопом азота (^{15}N) показала су да бактерије до 30% својих протеина могу синтетизовати из пептида и аминокиселина. Ове аминокиселине настају бактеријском протеолизом или су то интактне аминокиселине. Протозое румена не могу користити NH_3 и зато своје потребе у азоту обезбеђују инкорпорацијом бактерија које потом варе интрацелуларне протеазе. Амонијак се формира из уреје ендогеног порекла и уреје унете храном. Разградња уреје до NH_3 и CO_2 , деловањем бактеријске уреазе, присутне у течном садржају румена, одвија се веома брзо и има следећи ток:



Бактерије румена, такође, ослобађају NH_3 из NPN једињења присутних у храни (кабаста хранива или силажа). Амонијак, настао деградацијом протеина хране, делимично се уграђује у ћелије микроорганизма. Његово фиксирање од стране микроорганизма румена, одвија се у процесу супротном од деаминације аминокиселина, тј. додавањем NH_3 окси киселинама. Најдоминантнија реакција је формирање глутаминске киселине, додавањем NH_3 2-оксиглутарној киселини, посредством ензима *глутамат хидрогеназе*.

Даљи механизам фиксирања NH_3 од стране микроорганизма, је његово додавање аминокиселинама, ради формирања амида. Енергију за ову реакцију обезбеђује АТР.

Амидни NH_2 (у $-\text{CONH}_2$) веома је реактиван и врши трансформацију оксидне киселине насталих у румену, деградацијом угљених хидрата у аминокиселине. Насупрот великом значају NH_3 за пораст микроорганизама румена, они никада у потпуности не могу користити NH_3 присутан у румену пошто постоји лимит за количину NH_3 коју могу фиксирати микроорганизми. Синтеза протеина у румену достиже свој максималан ниво при концентрацији NH_3 од 5 mmol (9 mg/100 ml). Порастом количине узетог N, долази до постепеног повећања концентрације NH_3 у румену, али укупна производња протеина микроорганизама достиже максималан обим.

Вишак амонијака, изнад потреба микроорганизама, крвљу доспева у јетру, где бива трансформисан у уреју. Део слободног NH_3 у румену, бива апсорбован директно кроз епител румена у крв. Преостали део NH_3 , пролази са дигестом у следеће делове дигестивног тракта, где се коначно апсорбује кроз епител у крв, а одавде доспева у јетру. Већи део формиране уреје у јетри, излучује се преко бубрега у урин. Један мањи део (око 20%) поново рециклира у румен преко пљувачке или директном дифузијом из крви кроз зид румена. У румену, деловањем бактеријске уреазе, долази до разлагања уреје до NH_3 , који се користи у микробиолошкој синтези протеина, заједно са NH_3 произведеним из протеина хране. Разградња уреје у мањој мери протиче деловањем уреолитичких бактерија румена, а у знатно већој од стране бактеријске популације причвршћене на унутрашњи зид румена. Овако причвршћене бактерије фиксирају уреју која из крви дифундује кроз зид румена. Убрзање процеса дифузије, под утицајем бактеријске уреазе, зависи од концентрације NH_3 у румену. Само при ниском нивоу NH_3 у румену, релативно високи нивои ендогеног N бивају рециклирани и могу да служе као секундарни извор N за микроорганизме румена. Око 30-40% укупног броја микроорганизама бива на овај начин деградирано. Истраживања су показала да рециклирање NH_3 , које достиже 10-50% од протока NH_3 , одвија се претежно у румену, као резултат разградње и варења микроорганизама.

Максимална синтеза протеина постиже се када је концентрација NH_3 у румену око 9 mg/100 ml. Ова концентрација остварује се оброцима који садрже 13% протеина. Уреја се ефикасно може користити једино у присуству довољних количина угљених хидрата у оброку који садрже мање од 13% протеина. Исхрана са количинама протеина које прелазе потребе, доводи до губитака и стварања сувишних концентрација NH_3 у румену. Исхрану сувишним количинама протеина преживари најчешће могу поднети, пошто се вишак NH_3 трансформише у јетри у уреју, чији се велики део излучује урином. Међутим, исхрана са сувишним количинама уреје или амонијачних соли, може бити опасна када животиње не конзумирају довољне количине угљених хидрата. Механизми за детоксикацију амонијака, конверзијом у уреју, не могу доћи до пуног изражаја уколико су у питању концентрације NH_3 изнад 80 mg/100 ml садржаја. Такође, вишак протеина и високе концентрације амонијака и уреје, доводе се у везу са репродуктивним поремећајима код крва.

Изразито алкални карактер садржаја румена, депресивно делује на дисоцијацију NH_3 . Амонијак се апсорбује претежно као слободна база кроз липидни слој зида румена у крв. Због тога, изузетно високи нивои NH_3 у румену повезани су са високим нивоима у крви. Високи нивои NH_3 у крви и органима животиње, изазивају одступања у метаболизму угљених хидрата. Токсичност NH_3 , такође, доводи до нервних поремећаја. Знаци тровања укључују тремор мишића, убрзано дисање и некоординацију покрета. У екстремним случајевима, претерано велике количине унете уреје доводе до брзог угинућа животиње. Токсичност уреје и угинућа

због тровања са NH_3 , догађају се при нивоима NH_3 у крви који прелазе способност пуферног капацитета крви. Сувишни нивои доводе до пораста рН и опадања капацитета крви за елиминисање CO_2 . Одговарајућа употреба уреје, као делимичне замене протеина у исхрани одраслих преживара, показала се економски оправданом.

Од значаја је и употреба уреје као течног додатка, са већом концентрацијом меласе и фосфорне киселине. Меласа служи као извор енергије за синтезу микробијалних протеина, а фосфорна киселина снижава рН садржаја румена, који може бити штетан за животиње.

Потребе микроорганизама у хранљивим елементима. Да би се синтеза протеина нормално одвијала, поред протеина и угљених хидрата за потребе микроорганизама, неопходно је присуство фосфата и сумпора у храни преживара. Фосфати су потребни за синтезу нуклеинских киселина, а сумпор је потребан за синтезу метионина и цистина у протеинима микроорганизама. Оброци преживара треба да садрже азот и сумпор у односу 10:1. Сумпор мора бити присутан у форми сулфата, или као метионин и цистин. Микроорганизми стварају сулфид, неопходан за биосинтезу цистина и метионина.

Метаболизам азотних једињења у танким цревима. Протеини микроорганизама заједно са неразграђеним протеинима хране, доспевају у танка црева преживара. Мање количине других азотних материја које доспевају у дуоденум, јесу протеини метаболичког порекла, нуклеинске киселине микроорганизама и NH_3 . Процеси варења и апсорпције протеина, у танким цревима преживара, мало се разликују од оних присутних у непреживара. Количине аминокиселина које ишчежавају из црева, одређују се анализом узорка дигеста, који се добија преко фистуле на проксималном делу дуоденума и терминалном делу илеума. Оваквим мерењима може се израчунати нето ишчезавање појединих аминокиселина у току пролаза дигеста кроз танка црева, а такође и апсорбована количина доступна животињи домаћину. На бази овако добијених вредности, може се закључити каква је ефикасност коришћења различитих извора азота у храни, за обезбеђење организма животиње са аминокиселинама.

Процеси варења у танким цревима, разликују се од процеса варења у непреживара у следећем: (1) количина метаболичког азота (пореклом из панкреасног сока, жучи и ољуштених ћелија епитела црева) у односу на количину азота хране, знатно је већа у преживара него у непреживара. Због тога, метаболички азот представља корисну допуну протеинима хране и протеинима микроорганизама, а нарочито када је оброк дефицитаран у протеинима. (2) Брзина неутрализације дигеста, који долази у дуоденум, знатно је спорија у преживара него у непреживара. (3) Активирање и максимална активност панкреасних протеаза одвија се у средњем делу јејунума (уместо дуоденума у непреживара). У оваца део црева који се налази 7-15 m дистално од пилоруса, представља подручје максималне активности панкреасне протеазе. У исто време, ово је и подручје најинтензивније апсорпције аминокиселина.

Однос микробиолошког и неразграђеног протеина хране у несвареном делу хране у дуоденуму, зависи од природе оброка, а нарочито извора азота у храни. Од укупне количине протеина 50-90% микробиолошког је порекла, док преостали део отпада на протеине хране који су избегли деградацију у румену.

Метаболизам азота у дебелом цреву. Количина азота, која доспева у дебело црево, износи око 20% од укупне количине унетог азота. До задњег дела дигестивног

тракта доспевају азотна једињења хране, затим микроорганизми румена и материје ендогеног порекла. Поред тога, уреја доспева директно из крви у дебело црево. Катаболички и анаболички процеси микроорганизама у дебелом цреву, слични су процесима који претходе у румену. Међутим, апсорпција азотних једињења другачијих од NH_3 , из дебелог црева је веома ограничена. Амонијак апсорбован из цекума не треба сматрати потпуним губитком, пошто се овај у јетри трансформише у уреју, а део овога рециркулише до румена и потом бива уграђен у протеине микроорганизама. Различити делови азотних фракција, пореклом из протеина микроорганизама, протеина хране и ендогених протеина, бивају излучени фецесом.

Хранљива вредност протеина микроорганизама. Аминокиселински састав протеина микроорганизама показује висок степен уједначености, без обзира на састав оброка. Имајући у виду сличност процеса варења у цревима преживара и непреживара, сварљивост и биолошку вредност осушених бактерија и протозоа, одређивани су у експериментима на пацовима и мишевима. Сварљивост протеина бактерија и протозоа румена износила је 74 и 91%, а биолошка вредност 71 и 80%. Сличне вредности за сварљивост протеина микроорганизама утврђене су инфузијом маркираног изотопа сумпора (^{35}S) у абомазум оваца.

Ефикасност коришћења протеина хране у исхрани преживара. И поред релативно високе сварљивости и биолошке вредности протеина микроорганизама, у исхрани преживара они, ипак, немају предности у односу на лако разградиве протеине хране. Аминокиселински састав многих протеина хране знатно је повољнији од састава протеина микроорганизама. Трансформација протеина хране у протеине микроорганизама, праћена је значајним губицима у азоту. Формирани NH_3 у румену, бактерије не користе у потпуности, због чега се овај излучује урином. За микробиолошку синтезу протеина и излучивање урејом неискоришћеног NH_3 , потребна је значајна количина енергије.

Постоје значајне разлике у степену разградивости различитих протеина хране, под утицајем микроорганизама румена. Хранива са лако разградивим протеинима у исхрани преживара обично су мање вредна од хранива која садрже слабије разградив протеин који ће се касније сварити у танким цревима. Брзина и обим разградње протеина хране зависе од великог броја различитих фактора. Међу најважније спадају: растворљивост у течном садржају румена, састав протеина, количина и извор угљених хидрата у оброку, ниво конзумиране хране и брзина пролаза кроз румен. Казеин млека веома је растворљив и готово у потпуности подлеже разграђивању при инкубирању са садржајем румена. Супротно од овога, зеин из зрна кукуруза, тешко је растворљив и 40-60% избегава разградњу у румену. Око 80% протеина зрна јечма, трансформише се у протеине микроорганизама. Термичка обрада бројних хранива са умереним температурама (гостирање зрна соје), смањује растворљивост протеина и побољшава ефикасност њиховог искоришћавања у исхрани преживара. Разлози за повећање хранљиве вредности сојиног брашна у исхрани непреживара, а нарочито живине, топлотним третманом, јесу у инактивирању трипсин инхибитора, што није од значаја за преживаре. Међутим, претерано загревање чини протеине мање сварљивим, тако да ова хранива постају мање вредним изворима протеина за преживаре.

Један од најважнијих фактора, од кога зависи ефикасност искоришћавања NH_3 у румену, јесте доступност угљених хидрата. Искоришћавање азота се може повећати ако се повећа количина растворљивих угљених хидрата, а нарочито скроба као извора енергије у оброку. Угљени хидрати служе као извор енергије за

микроорганизме, а и као носач безазотног скелета, неопходног за микробиолошку синтезу аминокиселина.

3.4.6. ПРОТЕИНСКА ВРЕДНОСТ ХРАНИВА И ОБРОКА

Животиње имају потребе у протеинима за обезбеђење властитих потреба у аминокиселинама. Затим се те аминокиселине користе за синтезу протеина телесних ткива и различитих производа, као што су млеко, јаја и вуна. Животиње са једноставним желуцем обезбеђују потребне аминокиселине у току варења и апсорпције протеина хране. У преживара, захваљујући функцији румена, потребне аминокиселине настају комбинацијом протеина микроорганизама, насталих из протеина хране разградивих у румену (RDP) или непротеинског азота (NPN) и из протеина неразградивих у румену (UDP). Из овога јасно произилази неопходност употребе различитих показатеља за оцену протеинске вредности хранива за непреживаре и преживаре.

Пре разматрања савремених метода за оцену протеинске вредности хранива, од значаја је скренути пажњу и на методе који су већ дуже времена у употреби, а на бази којих су настали ови последњи.

Сирови протеини (SP; *енг. crude protein, CP*). Протеини су компонента хране, која представља најважнији извор азота. То значи да мерењем садржаја азота у храни, методом Kjeldahl-а, може се доћи до укупне количине протеина. При томе се полази од две претпоставке при израчунавању садржаја силових протеина из садржаја азота. Прва претпоставка полази од тога да је укупна количина азота у храни присутна у форми протеина. Ова претпоставка, међутим, није потпуно тачна, пошто се део азота налази у форми непротеинског азота. Друга претпоставка полази од тога да сви протеини хране садрже 16% азота. Садржај азота у различитим врстама протеина се креће од 15 до 18%. Због непотпуне тачности ових претпоставки, овако добијен садржај протеина у хранивима назива се *силови протеин*. Садржај силових протеина израчунава се коришћењем следеће једначине:

$$\%SP = \%N \times \left(\frac{100}{16}\right) \text{ односно } N \times 6,25$$

Сварљиви сирови протеини (SSP; *енг. digestible crude proteins, DCP*). Садржај силових сварљивих протеина у одређеном оброку, одређује се у огледима сварљивости, као разлика у количини азота у храни и фецесу. Добијена разлика представља количину азота која је апсорбована. Пошто у преживара одређена количина азота може бити апсорбована из дигестивног тракта као NH_3 , а не као аминокиселине, као и да у свих животиња одређени део азота је метаболичког порекла (ензими за варење), овај показатељ је у исхрани преживара углавном напуштен. Као сличан показатељ у исхрани преживара, користи се **доступни протеин** (*енг. available protein, AP*), који представља сирови протеин умањен за количину протеина везану за влакна. До интензивног везивања протеина са влакнима долази при високим температурама, нпр. при прегревању силаже или неадекватном термичком третману соје, и тај део протеина постаје недоступан. Доступни протеин пружа добру информацију о сварљивости протеина, али не даје слику о томе колико ће се протеина усвојити у облику аминокиселина, а колико у форми амонијака, па у том погледу ни доступни протеин није бољи од сварљивог.

У исхрани свиња, вредности за сварљиве сирове протеине немају значајно мању вредност од садржаја сирових протеина. Разлог овоме је чињеница да је сварљивост протеина у различитим хранивима прилично уједначена.

Непреживари

Вредност једног хранива или оброка, као извора протеина, не зависи само од количине присутних сирових или сварљивих протеина, већ и учешћа различитих аминокиселина које улазе у састав сирових протеина, у односу на потребне аминокиселине за синтезу телесних ткива у непреживара. Аминокиселине из конзумираних протеина, утичу на ефикасност њиховог коришћења.

Постоји одређени број метода за оцену квалитета протеина. Један од првих је *биолошка вредност протеина* (BV). Биолошка вредност протеина представља процентни удео протеина који је у организам унешен, а након апсорпције ће се уградити у нове протеине организма. У основи биолошка вредност представља процену односа присутних есенцијалних аминокиселина у неком храниву или obroку и потреба у тим истим аминокиселинама за одређену производњу. Ако је количина апсорбованих једнака количини потребних аминокиселина, у том случају биолошка вредност таквог хранива или оброка износи 100. Стога се биолошка вредност протеина у смешама мора оцењивати упоређењем са тзв. “идеалним протеином”. Пример одређивања биолошке вредности на овакав начин је приказан у табели 29, где се види да је највећа диспропорција између идеалног протеина и протеина смеше у садржају лизина. У овом примеру смеша садржи само 71% лизина у односу на ниво у идеалном протеину, стога је ово истовремено и биолошка вредност смеше. На овај начин се поред биолошке вредности одређује и прва лимитирајућа аминокиселина.

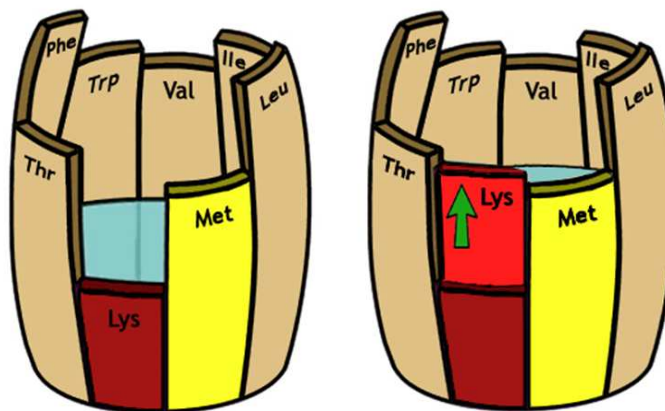
Структура потребних есенцијалних аминокиселина за непреживаре увек је приближно иста, као и однос укупне масе есенцијалних и неесенцијалних аминокиселина. Ова структура названа је идеалним протеином и она представља просечну структуру протеина који треба да се синтетизују у организму животиње. Обезбеђење ове структуре аминокиселина у метаболизму омогућава задовољење свих потреба у протеинима уз минималан ниво у obroку. Ово има велике биолошке и економске предности. Са економског становишта снижавање нивоа протеина, има за последицу снижавање трошкова исхране свиња. Са биолошког аспекта, структура идеалног протеина обезбеђује задовољење потреба у протеинима уз најмање метаболичке губитке аминокиселина. Применом концепта идеалног протеина ствара се могућност за лако одређивање потреба у појединим аминокиселинама приликом померања нивоа протеина у obroку, пошто се структура потребних протеин не мења. У пракси се комбиновањем појединих хранива, као и употребом синтетичких аминокиселина настоји приближити структури идеалног протеина и тиме на најрационалнији начин задовољити потребе свиња у протеинима.

Потребе свиња у појединим аминокиселинама задовољавају се, пре свега избором и висином учешћа појединих протеинских хранива. Будући да оброк свиња сачињавају највећим делом зрна житарица која садрже протеине ниске биолошке вредности, око 50% протеина у obroку је лошег квалитета. У пракси се у obroку нађе и одређена количина неког мање вредног протеинског хранива, при чему се ствара ситуација да оброк садржи довољно протеина који по својој вредности не задовољавају потребе у појединим аминокиселинама. У таквим условима потребе у дефицитарним аминокиселинама могу се евентуално

задовољити повећањем нивоа укупних протеина, што је скупо и нерационално или, пак, укључивањем у оброке оне аминокиселине која је прва лимитирајућа у синтетичком облику. Првом лимитирајућом аминокиселином називамо ону која у односу на потребе животиња највише недостаје и чијим укључивањем у оброк ће се значајно повећати прираст и ефикасност искоришћавања хране. Дакле, увођењем прве лимитирајуће аминокиселине повећава се искористивост свих осталих аминокиселина у сврху синтезе протеина. Ово је сликовито и врло јасно приказано на слици 13. Недостатак нпр. лизина (слика 13) ће бити лимитирајући фактор колико ће воде стати у бачву. Садржај осталих аминокиселина може бити у неограниченим количинама, али само нова количина лизина ће омогућити пуњење бачве новом количином воде. Бачва на овој слици представља један полипептидни ланац. Дакле, недостатак прве лимитирајуће аминокиселине ће ограничити синтезу полипептидног ланца, самим тим и протеина без обзира на количине других присутних аминокиселина.

Табела 29. Одређивање биолошке вредности протеина смеше, на основу структуре идеалног протеина (Whittemore, 1987).

Аминокиселина	Садржај, g/kg		Биолошка вредност протеина
	протеин хране	идеални протеин	
Хистидин	20	25	80
Изолеуцин	35	40	87
Леуцин	75	80	94
Лизин	50	70	71
Метионин+Цистин	30	40	75
Тирозин+Фенилаланин	60	70	86
Треонин	35	40	87
Триптофан	10	10	100
Валин	45	50	90



Слика 13. Шематски приказ значаја прве лимитирајуће аминокиселине (<http://www.nutrientsreview.com/proteins/amino-acids>).

У нашим производним условима где се за исхрану свиња као основно храниво користи кукуруз, а затим сојина и сунцокретова сачма, најчешћа прва лимитирајућа аминокиселина је лизин, а затим метионин, треонин и триптофан (табела 30). При

употреби синтетичких аминокиселина мора се водити рачуна о количини која се додаје, пошто код предозирања прва лимитирајућа аминокиселина постаје нека друга коју би онда требало додавати. Додатак неких аминокиселина у вишку може понекад довести и до депресије производње свиња. На овај начин се поправља аминокиселинска структура и приближава се потпуном задовољењу потреба свиња у аминокиселинама уз минималан ниво протеина. Употреба синтетичких аминокиселина је дуго времена била скупа и са економског аспекта нерационална. Међутим, порастом сточарске производње у свету, али и код нас, као и ограничена могућност производње квалитетних природних извора протеина, употребу синтетичких аминокиселина чини апсолутно економски оправданом. Најчешће коришћене аминокиселине су лизин и метионин, а затим триптофан и треонин.

Табела 30. Лимитирајуће аминокиселине у житарицама за исхрану свиња (Borah, 2013).

Житарица	Лимитирајуће аминокиселине		
	Прва	Друга	Трећа
Јечам	Лизин	Треонин	Хистидин
Кукуруз	Лизин и триптофан	Треонин	
Овас	Лизин		
Сирак	Лизин	Треонин	Триптофан
Тритикале	Лизин	Треонин	
Пшеница	Лизин	Треонин	

Методe за мерење квалитета протеина у оброцима непреживара

Биолошки огледи. Основна улога протеина хране је да обезбеде потребну смешу аминокиселина, које су неопходне за синтезу протеина ткива. Биолошка оцена протеина често пута има предност над анализом аминокиселина, пошто резултати биолошких огледа показују способност протеина хране за трансформацију у телесне протеине и њихову ефикасност у одржавању животиња (за замену телесних протеина) и њихов пораст. Биолошка ефикасност искоришћавања протеина хране не зависи само од биланса доступних аминокиселина, већ и унетог азота и енергије, врсте животиње и њеног физиолошког стања. Отуда, експериментални услови строго су дефинисани и разрађени за различите биолошке огледе. Биолошки методи за оцену протеина, засновани су на следећим критеријумима: мерењу величине телесног прираста у животиња у порасту; мерењу ретенције азота помоћу билансних огледа и анализом тела закраних животиња.

Мерење тежине прираста

Ефикасност искоришћавања протеина (PER). Овај метод редовно користи пораст пацова или пилића као меру хранљиве вредности протеина. Ова мера се изражава као тежина оствареног прираста по јединици тежине конзумираних протеина и може се израчунати на следећи начин:

$$PER = \frac{\text{тежина прираста (g)}}{\text{конзумирани протеин (g)}} \times 100$$

Бруто протеинска вредност (GPV). Овај тест се користи за одређивање квалитета протеинских хранива за пилиће. Прираст живе масе пилића, који добијају

основни оброк са 8% протеина, упоређен је са прирастом пилића који уз основни оброк добијају + 3% протеина, који ће бити испитиван (A) и пилићима који добијају основни оброк + 3% казеина (A₀). Екстра прираст по јединици додатог тест протеина изражен као % екстра прираста по јединици додатог казеина, представља бруто протеинску вредност тест протеина:

$$GPV = \frac{A}{A_0} \times 100$$

Претходни поступци засновани на мерењу прираста телесне масе, нису довољно тачни. Прирасти нису исти, па чак ни у животиња исте врсте и старости. Отуда, прирасти телесне масе нису егзактно везани за количине депонованих протеина.

Друге методе

Микробиолошке методе. Одређени микроорганизми имају потребе у аминокиселинама које су сличне потребама животиња. Последњих година развијени су *брзи мониторинг тестови*, који укључују мерење пораста микроорганизма у основном медију, који садржи све хранљиве материје неопходне за пораст (изузев аминокиселина) и протеин који ће се тестирати. Исто као у пацова, реакција микроорганизма зависи, пре свега, од количине лимитирајуће аминокиселине. Тестови са следећим микроорганизмима широко су прихваћени: *Streptococcus zymogenes*, бактерија која производи млечну киселину и протозоа *Tetrahymena pyroformis*, која врши протеолитичку активност и може се користити без претходног варења.

Биохемијски параметри као индикатори хранљиве вредности протеина. Нивои аминокиселина у крви животиња представљају резултат разлике између усвајања од стране ткива и количина које долазе из хране, плус аминокиселине ендогеног порекла, а показују разлику између потреба животиња и степена обезбеђености храном. Низак ниво једне аминокиселине у крвној плазми, представља индикатор њеног дефицита у храни.

Постоји негативан однос између биолошке вредности одређеног протеина и нивоа уреје у крви. Ово је због тога што азот присутан у аминокиселинама апсорбован и неискоришћен за потребе биосинтезе, бива трансформисан у уреју. Када се услови прописани за овај тест (ниво азота у obroку и одговарајући временски интервал између храњења и узорковања крви) строго поштују, добија се веома велика сагласност са резултатима биолошких тестова.

Хемијски тест за оцену доступности лизина. Доступност лизина, најчешће лимитирајуће аминокиселине у многим хранивима, под утицајем је топлотног третмана. Разлог овоме је што слободна ε-амино група, присутна у лизину, реагује на загревање са алдехидном групом шећера или са карбоксилном групом аминокиселина. За успешну употребу сојине сачме или памукових погача у исхрани непреживара, ова хранива се морају подвргнути топлотном третману. Претерано загревање, међутим, има негативан утицај на доступност лизина.

Преживари

Исхрана непреживара протеинима битно се разликује од исхране непреживара протеинима. Ова разлика, као и већина других разлика између исхране непреживара и преживара, резултат је микробиолошких процеса у преджелуцима

преживара. Док је у исхрани непреживара пре свега важно обезбедити адекватне количине сварљивих есенцијалних аминокиселина, исхрана преживара протеинима има два циља. Први је да задовољи потребе буражних микроорганизама за одговарајућим изворима азота, а други да задовољи потребе самих преживара за аминокиселинама. Снабдевање микроорганизама азотом неопходно је не само ради синтезе микробијалног протеина већ и за успешно варење угљених хидрата који представљају убедљиво највећи део оброка преживара. Без довољно азота за буражне бактерије, микробиолошко варење ће бити успорено, храна ће се дуго задржавати у бурагу, па ће конзумација хране и самим тим унос свих хранљивих материја бити умањени. Ово је добар пример интеракција између хранљивих материја у исхрани преживара.

Део протеина који је доступан микроорганизмима бурага назива се **разградиви протеин**. Он обично чини око две трећине укупног протеина у исхрани преживара и његов аминокиселински састав није посебно важан. Ова фракција протеина обухвата и непротеинске изворе азота, које бактерије бурага могу успешно да користе уместо протеина. Бактерије бурага разграђују разградиви протеин, ослобађајући амонијак из њега и онда га користе за синтезу других аминокиселина. Вишак амонијака апсорбује се кроз зид бурага у крв, одакле се транспортује у јетру где се трансформише у уреју. Уреја се једним делом враћа у бураг путем пљувачке, да би поново имала шансу да се угради у бактеријски протеин, што представља вид рециклирања азота у организму преживара, док се други део уреје избацује из организма путем урина (слика 14).

Разградиви протеини у исхрани преживара разликују се по њиховој доступности микроорганизмима. Неки се брже, неки спорије разграђују, а важно је да ослобађање амонијака буде равномерно. Ако амонијака недостаје, раст бактерија биће успорен, а ако је амонијака превише, неће моћи да се искористи и биће изгубљен путем урина. У екстремним случајевима може доћи и до тровања амонијаком које се често завршава и смрћу животиње. Због тога је важно да брзина разградње протеина у бурагу буде оптимална. Део протеина који је одмах доступан бактеријама је **растворљиви протеин**. Растворљиви протеин обично чини једну половину разградивих протеина, односно једну трећину укупних протеина. У случају да у оброцима недостаје овог протеина он се прилично јефтино може надоместити непротеинским изворима азота попут уреје. Други део разградивог протеина је разградиви нерастворљиви протеин, који микроорганизми спорије користе.

Садржај разградивог протеина у хранивима није фиксан. То колико ће се протеина разградити из неког хранива, може да варира. Поред брзине разградивости протеина, ово зависи и од брзине проласка честица хране кроз бураг, односно што храна брже пролази кроз бураг, то се мање протеина разгради. Део протеина који мимоиђе процесе у бурагу и непромењен доспева у желудац и танка црева назива се **неразградиви протеин** или бајпас протеин. За разлику од разградивог протеина, аминокиселински састав неразградивог протеина је важан, пошто се он директно користи од стране преживара, а без микробиолошке трансформације. Такође је важна и сварљивост овог протеина. Део протеина из хране који је директно доступан преживарима је неразградиви сварљиви протеин, односно онај део протеина који ће избећи микробиолошко варење у бурагу, али који ће бити сварен и ресорбован у танким цревима. Овај протеин је теже обезбедити у оброцима, углавном га има у скупљим протеинским хранивима и не може се заменити јефтиним непротеинским азотом. Протеинска хранива се често посебно обрађују како би се повећао удео неразградивог, а сварљивог протеина у

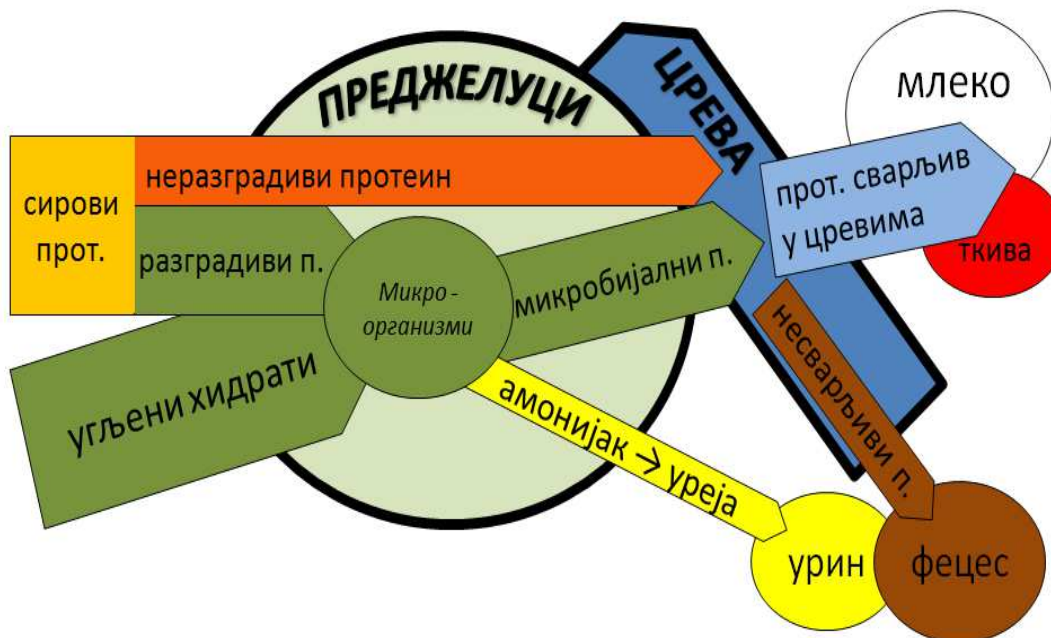
њима. При томе се користе термички и хемијски третмани. Овакав протеин се назива **протектирани протеин**.

Најважнији извор протеина за преживаре је **микробијални протеин**. У преджелуцима преживара расту и умножавају се бактерије, протозое и гљивице, које заједно са храном из бурага доспевају у желудац и танка црева где се варе и представљају важан извор протеина. Овај протеин потиче од разградивог протеина хране, али је његова количина смањена, пошто се део азота изгубио путем амонијака, а његов аминокиселински састав је измењен, често је много бољи од аминокиселинског састава разградивог протеина. Осим тога, значајан део азота у микроорганизмима није уграђен у протеине већ у нуклеинске киселине, а један део је и несварљив. Према америчком NRC (2001) прорачуну снабдевања музних крава протеинима, рачуна се да најмање 15% разградивог протеина мора бити изгубљено путем амонијака, да 20% микробијалног азота чине нуклеинске киселине и да је од остатка 20% несварљиво. Тако се, од 100 g разградивог протеина може добити највише 54 g сварљивог микробијалног протеина. Услов за добијање микробијалног протеина је довољна количина ферментишућих органских материја, пре свега угљених хидрата, у бурагу, као и добро функционисање читавог буражног екосистема. Без тога, губитак разградивог протеина у форми амонијака биће већи од минималних 15%, а синтеза микробијалног протеина биће смањена.

Док је код непреживара протеин који доспева у желудац и танка црева исти онај протеин који је животиња конзумирала, код преживара је он битно измењен микробиолошким процесима у преджелуцима. Мањи део протеина који доспева у желудац је протеин из хране – неразградиви протеин. Већи део протеина који доспева у желудац преживара је протеин бактерија, протозоа и гљивица из преджелудаца – микробијални протеин. Уз ове две фракције, у желудац и танка црева доспева и једна количина протеина који животиња сама лучи – **ендогени протеин**, али је количина овог протеина мала. Збир ове три фракције даје протеин који доспева у желудац и танка црева преживара, где се вари под дејством хлороводоничне киселине и протеолитичких ензима. Део овог протеина који се свари, доступан је животињи за подмирење њених уздржних и производних потреба, а његов аминокиселински састав делимично зависи од аминокиселинског састава хране, а више од аминокиселинског састава микроорганизама преджелудаца. Овај протеин, који се свари и усвоји у желуцу и танким цревима назива се **метаболички протеин** у америчком систему (NRC), а **протеин сварљив у цревима** у француском систему (INRA). Иако се у исхрани преживара најчешће не води рачуна о аминокиселинама, преживари, као и непреживари имају потребе у аминокиселинама, а не у протеинима. Разлика је у томе што код преживара није битан аминокиселински састав хране већ аминокиселински састав протеина сварљивог у цревим, тј. метаболичког протеина.

У исхрани преживара и даље се као основни показатељ садржаја протеина користи **сирови протеин**. Количина сировог протеина у храни говори о укупној количини азота коју животиња уноси. Назива се и укупни протеин. Оброци се обично балансирају на бази сировог протеина, а анализа сировог протеина је једна од најчешћих анализа хране за животиње. Сирови протеин ће увек бити прва карактеристика неке смеше за исхрану животиња која се спомиње, а овај показатељ је увек неопходан за рачунање садржаја прецизнијих протеинских показатеља у исхрани преживара. Поред сировог протеина, раније је као показатељ вредности протеина у исхрани преживара кориштен сварљиви протеин. Како сварљиви протеин представља просту разлику између протеина унетог храном и протеина избаченог фецесом, слика коју он даје није адекватна за исхрану преживара. Велики

део протеина који је наизглед сварен, заправо је изгубљен као вишак амонијака који је претворен у уреју и излучен урином. Због тога је у новијим протеинским системима сварљиви протеин замењен протеинима сварљивим у цревима, тј. метаболичким протеином.



Слика 14. Шематски приказ врсте протеина и њиховог варења у организму преживара

У америчком **NRC** протеинском систему, потребе преживара у протеинима изражавају се у метаболичком протеину, а количина разградивог протеина потребна микроорганизмима рачуна се на основу *TDN*-а, односно укупних сварљивих хранљивих материја у оброку. У овом систему, метаболички протеин се рачуна за читав оброк, а не за поједина хранива и рачуна се на два начина, у зависности од тога да ли има довољно разградивог протеина за максималну синтезу микробијалног протеина или не. Ако има довољно разградивог протеина, микробијални протеин се рачуна као 13% од *TDN*-а, а ако нема довољно разградивог протеина, микробијални протеин се рачуна као 85% разградивог протеина. Примера ради, ако се краве хране само силажом целе биљке кукуруза, која има мало протеина, лимитирајући фактор за синтезу микробијалног протеина биће разградиви протеин, кога у кукурузној силажи има око 50 g/kg суве материје, а количина микробијалног протеина биће 85% од 50 g дакле 42,5 g/kg суве материје силаже. Ако се овој силажи дода уреја као извор разградивог протеина, синтеза ће зависити од укупних сварљивих хранљивих материја. За силажу која има 670 g *TDN*-а по kg суве материје, синтеза ће бити 13% од 670 g, 87 g микробијалног протеина.

У француском **PDI** систему (*PDI - protéines digestibles dans l'intestin* – протеини сварљиви у цревима) потребе преживара у протеинима изражавају се у протеинима сварљивим у цревима, а протеини сварљиви у цревима рачунају се за свако храниво одвојено и то на два различита начина. У овом систему свако храниво има *PDIN* и *PDIE* вредност. *PDIN* је протеин сварљив у цревима ако је лимитирајући фактор за

синтезу микробијалног протеина азот доступан у бурагу, тј. разградиви протеин. *PDIE* је протеин сварљив у цревима ако је лимитирајући фактор за синтезу микробијалног протеина енергија доступна у бурагу, тј. ферментишућа органска материја. Ферментишућа органска материја добија се када се од укупних сварљивих органских материја одузме маст, неразградиви протеин и неразградиви скроб. Нпр. *PDIN* вредност уреје је 1472 g/kg, а *PDIE* вредност уреје је 0. Ово значи да ће додатак 100 g уреје у оброке у којима недостаје разградивог протеина обезбедити синтезу скоро 150 g микробијалног протеина сварљивог у цревима, док додатак уреје у оброке у којима је лимитирајући фактор ферментишућа органска материја, неће ни мало побољшати снабдевање протеинима. У добро избалансираним оброцима *PDIN* и *PDIE* вредност ће бити уједначене, а њихова количина усклађена са потребама животиње.

Немачки *nXP/RNB* систем и холандски *DVE/OEB* систем користе одвојене параметре за потребе саме животиње у протеинима и потребе микроорганизама за азотом. Свако храниво има *nXP* (*DVE*) вредност (*nXP* - *die nutzbare Rohprotein am Duodenum* – протеин искористив у дуоденуму, *DVE* - *Darm Verteerbaar Eiwit* – протеин сварљив у цревима) која је заснована на сварљивом неразградивом протеину и енергији доступној за синтезу микробијалног протеина. У случају да је лимитирајући фактор за синтезу микробијалног протеина азот, ови показатељи нису репрезентативни. Свако храниво такође има *RNB* (*OEB*) вредност (*RNB* - *die ruminale Stickstoffbilanz* – баланс азота у бурагу, *OEB* - *Onbestendige Eiwit Balans* – баланс разградивог протеина) која представља биланс азота у бурагу, односно усклађеност разградивог протеина и угљених хидрата у бурагу. Код хранива која имају много разградивог протеина, а мало угљених хидрата, овај биланс је позитиван, док је негативан код хранива која имају много угљених хидрата, а мало разградивог протеина. Када се оброк добро избалансира, *RNB* (*OEB*) је приближан нули.

Сложеност исхране преживара се може приказати поређењем кукуруза и пшеничних мекиња. Кукуруз садржи 9% сирових протеина, а пшеничне мекиње 16% сирових протеина. Поредићи ова два хранива на бази сирових протеина, рекло би се да су пшеничне мекиње много богатији извор протеина. Међутим, *сирови протеини не дају реалну слику о доприносу појединих хранива снабдевању преживара протеинима*. По немачком *nXP/RNB* систему, кукуруз има 15%, а пшеничне мекиње 13% употребљивих протеина (*nXP*). Ово је последица тога што кукуруз обезбеђује више енергије за пораст бактерија у бурагу и тиме боље снабдевање микробијалним протеином, а истовремено има и већи удео неразградивог протеина. Слична правилност се може видети и у француском *PDI* систему. Кукуруз обезбеђује преживарима 8,5% *PDIE*, а мекиње 8% *PDIE*.

3.5. ВИТАМИНИ

Витамины су специфична органска једињења потребна у веома малим количинама за нормалну функцију и одржавање организма, пораст, здравље и производњу животиња. Многе врсте биљака и различити микроорганизми имају способност синтезе витамина, што није случај са животињама, чија је биосинтетска способност знатно ограниченија. Чак и код животиња које синтетишу значајније количине витамина (преживари), ова синтеза се одвија захваљујући микроорганизмима дигестивног тракта.

Откривање витамина. До почетка прошлог века сматрало се да је у оброцима животиња неопходно присуство угљених хидрата, протеина, минерала и воде. За болест *берибери* знало се у Кини још 2600 година пре наше ере. За *скорбут* се, такође, дуго знало међу морнарима, који су се дуже хранили усољеним месом и двопеклом. Међутим, вековима се мислило да су ове болести последица присуства токсичних материја у органима за варење које стварају патогени организми, пре него да је у питању дефицит у храни. Много је времена прошло до коначног откривања узрока различитих авитаминоза и природе витамина.

Експериментима је откривено да су поједина хранива корисна у третирању неких од обољења. Хипократ (460-377 г. пре наше ере) је саветовао употребу јетре као лека за ноћно слепило. Уље јетре бакалара је коришћено за третирање или превенирање рахитиса много пре него што је ишта било познато о узроку овог обољења. Британски морнарички хирург James Lind је 1747. у експерименту изведеним на морнарима оболелим од скорбута, утврдио да сок од јужног (тропског) воћа превенира појаву и лечи ову болест. У току 1882. јапанац Kanehiro Takaki умногоме је смањio број случајева берибери обољења међу морнарима, додавањем мяса и млека у праху оброку од пиринча. У току 1912., пољски биохемичар Casimir Funk, увео је употребу реч *витамины*. Funk је претпоставио да се берибери, пелагра и вероватно рахитис, јављају као последица недостатка у храни “*специфичних супстанци, које су по природи органске базе, које треба звати витамини*”. Вероватно да је назив витамини алудирао на чињеницу да су ове материје биле виталне за живот и да су по хемијској природи амини.

Дефиниција и класификација витамина. Витамини су органске материје које су есенцијалне у малим количинама за здравље, раст и репродукцију животиња, који морају бити укључени у оброке пошто често не могу бити синтетисани или не могу бити синтетисани у довољним количинама у организму животиње. Сваки од витамина обавља неку специфичну функцију. Због тога, један не може заменити други или заменити његово деловање. Организам животиње обично не може синтетисати витамине, барем не у довољно великим количинама за обезбеђење њихових потреба.

Данас се витамини најчешће деле на: (1) витамине растворљиве у мастима, (2) витамине растворљиве у води и (3) витаминима сличне супстанце.

Карактеристике липосолубилних и хидросолубилних витамина

Између витамина ове две групе постоје значајне разлике. Витамини растворљиви у мастима садрже само угљеник (C), водоник (H) и кисеоник (O), док витамини растворљиви у води садрже ова три елемента плус азот (N), а неки и сумпор (S) (табела 31).

Основни извор витамина су биљке. Домаће животиње саме синтетишу витамин С, као и витамин D при излагању сунчевом зрачењу, док витамин B₁₂ синтетишу искључиво микроорганизми. Витамини растворљиви у мастима могу се јављати у биљним ткивима у форми провитамина (прекурсора витамина), који могу бити трансформисани у витамине у организму животиње. Такође, В витамини универзално су дистрибуирани у свим живим ткивима, док су витамини растворљиви у мастима потпуно одсутни из неких ткива.

Витамини растворљиви у мастима се депонују у значајним количинама у организму животиња, док то није случај са витаминима растворљивим у води. Веће конзумирање има за последицу њихово веће депоновање. Насупрот њима, витамини В комплекса, растворљиви у води, не депонују се у значајним количинама. Штавише, велике количине воде, која пролази кроз организам животиње у току једнога дана, условљава излучивање витамина растворљивих у води. Због тога се ови витамини морају свакодневно обезбедити храном.

Табела 31. Витамини значајни у исхрани животиња (Јовановић и сар., 2001).

Витамин	Хемијски назив
Витамини растворљиви у мастима (липосолубилни витамини)	
A	Ретинол
D ₂ *	Ергокалциферол
D ₃ *	Холекалциферол
E*	Токоферол
K*	Филохинон
Витамини растворљиви у води (хидросолубилни витамини)	
B ₁	Тиамин
B ₂	Рибофлавин
B ₃	Никотинамид (ниацин, никотинска киселина)
B ₅	Пантотенска киселина
B ₆	Пиридоксин (пиридоксал, пиридоксамин)
B ₇	Биотин
B ₉	Фолацин (фолна киселина)
B ₁₂	Холин
	Цианокобаламин
	Инозитол
	Пара-аминобензоева киселина (ПАВА)
C	Аскорбинска (дехидроаскорбинска) киселина

* Нека једињења сличне грађе, као и витамини D, E и K, поседују витаминску активност.

Витамини растворљиви у мастима апсорбују се из дигестивног тракта животиња, заједно са мастима након уграђивања у мицеле. Услови који су повољни за апсорпцију масти (адекватан доток жучи и честица малих димензија), доприносе побољшању апсорпције витамина растворљивих у мастима. Витамини В комплекса лако се апсорбују и то претежно путем пасивне дифузије. Разлика у начину екскреције, такође се одражава на разлике у растворљивости појединих група витамина. Витамини растворљиви у мастима, претежно се излучују преко жучи у

фецес, а витамини растворљиви у води излучују се углавном урином. Неки од витамина В комплекса, пореклом из бактеријске синтезе, такође, могу бити присутни у фецесу. Сувишне количине витамина растворљивих у мастима (500 пута веће од дневних потреба) доводе до појаве тешких тровања, што се не догађа са сувишним количинама витамина В комплекса у храни. У оваквим случајевима, организам се лако ослобађа сувишних количина ових витамина, њиховим излучивањем урином.

Провитамини. Постоји извештај број једињења која нису витамини, али испољавају витаминску активност после подвргавања хемијским променама. После уношења у организам храном, ова једињења подлежу променама у ћелијама организма и трансформишу се у витамине. Ове материје представљају прекурсоре витамина и називају се *провитамини*. Најбољи пример су каротини, биљни пигменти, који се у зиду црева трансформишу у витамин А. Други пример је провитамин D у кожи животиња, који се зрачењем претвара у витамин D, или аминокиселина триптофан која се може трансформисати у ниацин.

Антивитамини. Одређена хемијска једињења, слична по својој грађи витаминима В комплекса, могу заменити витамин у холоензиму, њиховим везивањем за апоензим. На овај начин спречава се комбиновање правог витамина са апоензимом, до кога нормално долази у организму животиње. Као последица овога долази до инхибирања или комплетног спречавања адекватне функције витамина. Једињења овог типа, у највећем броју представљају синтетичке материје, конкуришу витаминима и називају се *антивитамини*. Пошто су многи микроорганизми зависни од витамина В комплекса, као битних фактора пораста, антивитамини инхибирају њихов развој. Овакви антивитамини су коришћени у циљу изазивања дефицита у витаминима у експерименталних животиња, или у медицини као лекови против патогених бактерија.

Микробиолошка синтеза витамина у гастроинтестиналном тракту животиња. Нормална бактеријска флора у интестиналном тракту (као и у преджелуцима преживара) поседује способност синтезе значајних количина одређених витамина, укључујући већину витамина В комплекса и витамин К. У ствари, практично је немогуће изазвати дефицит у фолацину код експерименталних животиња, осим када је њихов гастроинтестинални тракт стерилисан оралним уношењем сулфо препарата.

Мада неке врсте микроорганизама могу синтетисати витамине, дотле друге имају конкурентан однос са животињом домаћином у овим хранљивим материјама. Ови штетни микроорганизми преовлађују у неким болестима и врше инактивирање витамина, у подручјима где се апсорпција нормално одвија. Као последица оваквог стања, долази до излучивања витамина у фецесу.

У румену преживара одвија се микробиолошка синтеза витамина В комплекса и витамина К. Овако формиран витамини веома су доступни животињи домаћину, пошто доспевају у део дигестивног тракта где се одвија ефикасно варење и апсорпција. По мишљењу неких истраживача, микробиолошком синтезом витамина В комплекса и витамина К, у потпуности се обезбеђују потребе преживара у овим витаминима. Микробиолошка синтеза ових витамина се одвија у слепом и дебелом цреву преживара и непреживара, али је обим апсорпције у овим деловима дигестивног тракта веома ограничен. Непреживари, као и млади преживари, због

одсуства микробиолошке синтезе, захтевају присуство витамина В комплекса у храни.

Потребе животиња у витаминима. Потребе животиња у витаминима покривају широко подручје од минималних до максималних количина. *Минималне потребе* у једном витамину представљају дневну количину, која је неопходна за превенирање симптома дефицита. Потребе означавају дневну количину витамина, коју треба унети у организм, које покривају минималне потребе и коефицијент сигурности. *Оптималне потребе* су оне које обезбеђују максималну производњу животиња. Потребе у витаминима се изражавају у *mg* или *интернационалним јединицама* (ИЈ) на *kg* телесне масе животиње или најчешће на количину хране (*mg/kg* хране).

3.5.1. ВИТАМИНИ РАСТВОРЉИВИ У МАСТИМА

ВИТАМИН А

Синоними: ретинол, аксерофтол, витамин за одржавање нормалног стања епитела, антиинфективни витамин, витамин пораста

Витамин А је веома значајан за животиње, а дефицит у витамину А је једна од најраспрострањенијих појава широм света. Овај витамин није присутан у биљкама и представља искључиво производ метаболизма организма животиња. У биљкама је присутан каротин, који представља прекурсор витамина А. Због тога што организм животиња може трансформисати каротин у витамин А, ово једињење се често пута назива и “провитамин А”. Каротин, чије име потиче од кароте (шаргарепе) из које је први пут изолован пре више од 100 година, је жуте боје, у мастима растворљива супстанца која даје карактеристичну боју шаргарепе, многим другим биљкама и жутом кукурузу. Због тога, главни извор свих витамина А су бројни каротини (провитамини), које синтетишују биљке.

Хемијска грађа витамина А и његових деривата. Витамин А се може обезбедити из његових мање активних аналога и прекурсора (каротина). *Ретинол* и његови деривати присутни су само у хранивима животињског порекла. *Каротини* се, углавном, налазе заједно са хлорофилом у свим биљним ткивима у којима се обавља фотосинтеза (лишће), а у мањој количини у корену и семену биљака. Ретинол је незасићени циклични алкохол, са 20 угљеникових атома, који се састоји од једног β -јононовог (триметилциклохексан) језгра и једног незасићеног бочног ланца. Витамин А се може јављати као слободни витамин А алкохол (ретинол) или естерификован са једном масном киселином, обично палмитинском. Витамин А се депонује у животињском ткиву, претежно као витамин А естар, а нарочито у јетри. Витамин А алкохол је главна форма присутна у крви.

Способност каротина да делују као провитамини А, зависи од његове трансформације у ретинол од стране животиње и присуства β -јона. Каротини који садрже најмање један β -јононов прстен, могу бити трансформисани у ретинол од стране животиња. Најефикаснији и најзначајнији каротиноид је β -каротин, који садржи два β -јононова прстена. За разлику од овога, α - и γ -каротин, не могу бити трансформисани од стране животиња у ретинол са истом ефикасношћу као β -каротин. Тако се α - и γ -каротин трансформишу у ретинол са 50% ефикасности β -каротина.

Конверзија β-каротина у ретинол. Конверзија β-каротина у ретинол у организму животиње врши се под утицајем два ензима: ензима *диоксигеназе*, који садржи бакар, који оксидативним путем цепа молекула β-каротина на месту централне двоструке везе, при чему се формирају углавном два молекула ретиналдехида, као и остали фрагменти. Други ензим је *ретиналдехид редуктаза*, који редукује ретиналдехид у присуству NADH у ретинол. Ова два процеса срећу се једино у мукози црева телади, када је каротин апсорбован из лумена црева. У других животиња, извесна конверзија одвија се након апсорпције у јетри и бубрезима.

Јединице активности за витамин А. Активност витамина А првобитно је изражавана у интернационалним јединицама (ИЈ). Ова јединица је била дефинисана као дневна доза, потребна за производњу прираста од 3 g/недеља у младих пацова, између четврте и осме недеље живота. Међутим, са увођењем прецизних аналитичких метода, јединица витамина А се заснива на егзактном количинском еквиваленту од 0,3 μg кристалног ретинола (или 0,344 μg ретинол ацетата или 0,55 μg ретинол палмитата). Теоретски при оксидативном цепању молекула β-каротина, могу се добити два молекула ретинола. Међутим, биолошка активност β-каротина износи свега 1/2 активности ретинола за пацове, а за друге врсте животиња чак и мање. Ова разлика између хемијске структуре и биолошке активности β-каротина, последица је непотпуне апсорпције.

Интернационални стандарди за активност витамина А, засновани на витамину А и β-каротину, следећи су:

1 ИЈ витамина А = активност 0,300 μg кристалног витамина А алкохола = 0,344 μg витамин А ацетата или 0,550 μg витамин А палмитата

1 ретинол еквивалент = 1 μg ретинола или 6 μg β-каротина или 12 μg других каротиноида

1 ИЈ витамин А активности је еквивалентан са 0,6 μg β-каротина

1 mg β-каротина = 1667 ИЈ витамина А

Извори ретинола и каротина. Уља јетре бакалара и ајкуле, коришћена су као важни хранљиви извори витамина А. Међутим, ова уља су у великој мери замењена са естрима витамина А, произведеним индустријском синтезом.

Каротини у зеленим биљкама, сену и силажи представљају најчешће изворе витамина А за преживаре. Концентрација каротина у зеленим биљкама креће се између 200 и 800 mg/kg суве материје. Међутим, садржај каротина у различитим зеленим кабастим хранивима показује велика варирања. На садржај каротина у њима, велики утицај имају услови производње и старост биљака при убирању.

Жути кукуруз и његови производи (кукурузни глутен) представљају хранива са умереним количинама каротина и криптоксантина. Концентрација прекурсора витамина А у жутом кукурузу нижа је него у сувој материји зелених хранива.

Стабилност каротина и витамина А. Ретинол и каротин се лако оксидишу због присуства коњуговане двоструке везе. Ретинол је нарочито нестабилан при деловању светлости или топлоте, а посебно у присуству јона тешких метала и воде. Под овим условима одвија се брза оксидација и губи биолошка активност. Естерификовани витамин А знатно је стабилнији од ретинола. Микроелементи, присутни у смешама концентрата и хидроксиперокси масних киселина, присутни у липидној фракцији анималних хранива, имају штетан утицај на стабилност

витамина А. Међутим, најјачи деструктивни утицај имају незасићене масти, које се лако оксидишу. Стабилност витамина додатих храни животиња је ниска, а посебно када су изложени великој површини за оксидацију. Оксидација се може делимично ублажити додавањем синтетичких антиоксиданата.

Заштита витамина А од разлагања могућа је његовим облагањем са неким антиоксидантом (етоксиквин, ВНТ), односно желатинозно - угљенохидратним матриксом у форми ситних гранула. У дигестивном тракту животиње грануле омекшавају и распадају се. После варења матрикса ослобађа се витамин А, који затим постаје потпуно доступан. Ова форма припремања витамина А при додавању смеши концентрата, своди губитке у витамину А на свега 3-4% у току једног месеца лагровања, при ниском нивоу влаге. Лагровање хране са повећаним садржајем влаге, може удвостручити или утростручити ове губитке. Пелетирање хране доводи до незнатне дестабилизације желатинизираних гранула, што има за последицу веће губитке у витамину А током лагровања.

Каротиноиди у биљном материјалу подлежу ензимској оксидацији, деловањем система липооксигеназа, као и неензиматским процесима при директном излагању сунчевој светлости. При спором сушењу кабастих хранива на сунцу, као што је припремање сена, може бити разграђено до 80% каротина. При краткотрајном деловању високих температура (при дехидрацији зелених хранива), долази до инактивирања липоксигеназе и конзервисања каротина. Каротин је обично добро конзервисан у силажи, при чему укупни губици при ферментацији износе око 10%. Делимично сушење биљака пре силирања, доводи до већих губитака у каротину (и до 30%).

Коришћење каротина у исхрани различитих врста животиња. Апсорпција β-каротина зависи од присуства адекватних количина масти у obroку. Међутим, искоришћавање β-каротина показује значајна варирања у зависности од врсте животиње (табела 32). У свиња, коза, оваца, зечева и паса, готово читава количина каротина, апсорбована у мукози црева, цепа се на ретинол и веома малу количину β-каротина, која доспева у крвоток. У говеда, коња и живине неки каротиноиди избегавају конверзију и доспевају у крвоток. Говеда, пре свега, апсорбују каротине, а живина ксантофиле (оксикаротиноиди), који не поседују А витаминску активност. Апсорбовани каротиноиди транспортују се у крвну плазму, а затим носе до телесних ткива и служе за пигментацију меса, јаја и млека.

Врсте животиња, које поседују способност апсорпције каротина, имају жуто обојену телесну и млечну маст. За разлику од њих, животиње које не апсорбују каротине, као што су овце и козе, имају белу маст и не садрже каротин у крви или млеку. Различите расе говеда имају различиту способност апсорпције каротина. Тако, нпр. говеда холштајнске расе апсорбују мање количине каротина од говеда церзеј расе, што се јасно манифестује жутом бојом млечне масти у ове расе. Пигментација жуманцета јајета и тела живине има одређеног утицаја на коначну одлуку купаца, због чега се одређени извори ксантофила (брашно дехидриране луцерке или синтетички каротиноиди) често додају храни живине. Ефикасност коришћења додатих синтетичких каротина, зависи од величине честица формираних у дигестивном тракту. При мањој димензији честица, степен усвајања је већи. Водена колоидна дисперзија, која садржи површински активне агенсе, може дати боље резултате од уљаних суспензија.

Ефикасност конверзије каротина у витамин А опада са повећањем конзумирања каротина или витамина А. Садржај каротина у телесним ткивима говеда, крви, млеку и жуманцету јајета, опада са порастом количине витамина А у храни. Сматра

се да каротин и витамин А имају конкурентан инхибиторни однос у погледу апсорпције.

Табела 32. Ефикасност конверзије каротина у витамин А у различитих врста животиња (McDowell, 2000).

Врста животиња	Ефикасност конверзије (%)	П витамина А еквивалентних 1 mg β -каротина
Кокош	100	1667
Свиња	30	500
Говече	24	400
Овца	30	500
Коњ	9,3	155
Пас	50	883

Апсорпција и депоновање витамина А. Витамин А из анималних хранива или синтетички произведен, обично се налази у форми ретинол естара, где је палмитат најприсутнији естар. Ови естри подлежу хидролизи у лумену црева, деловањем панкреасне хидролазе, док ретинол бива усвојен из мицеларне фазе у ћелијама мукозе црева. Жучне киселине су есенцијалне за овај процес, као и за растворљивост и усвајање каротина. У ћелијама мукозе β -каротин се трансформише у ретинол, деловањем растворљивих ензима.

Јетра животиња је најважнији депо витамина А. Одрасле животиње садрже обично 50-300 $\mu\text{g/g}$ јетре. На количину А витамина депонованог у јетри, поред конзумиране хране имају утицаја пол, старост, висина производње и здравствено стање животиње. Висока производња животиња, повећава њихове потребе у витамину А. Јетра може депоновати довољне количине витамина А да заштити животињу у току дужег периода оскудице. Преживари на паши доброг квалитета могу депоновати количине витамина А које су довољне да задовоље њихове потребе у току периода дефицитарне исхране дуге 6 месеци.

Улога витамина А у одржавању интегритета епитела ткива. Ретинол је укључен у биосинтезу гликопротеина, који у површинским ћелијама имају заштитну улогу. У животиња дефицитарних у витамину А, ћелије епитела формирају један кератинизирани слој, при чему нормални епител, који излучује слуз, бива замењен са сквамозним кератинизираним ткивом. Зато је витамин неопходан за одржавање нормалног стања епитела, који облаже све канале и шупљине организма, које комуницирају са спољашњом атмосфером. Такви су алиментарни, респираторни, урогенитални тракт, епител рожњаче и мека ткива око очију. Ољуштени слојеви сквамозног епитела, у животиња дефицитарних у витамину А, блокирају канале плувачних, сузних и интестиналних жлезда, доводећи до ширења ових са секретима, због чега жлезде могу престати са функцијом.

Губитак апетита, до кога долази у животиња дефицитарних у витамину А, може бити повезан са променама у ћелијама епитела. Кератинизација епитела рожњаче (слика 15) се јавља у животиња дефицитарних у витамину А и представља важан узрок губитка вида, стања познатог под именом *ксерофталмија*.

Разградња мукозних мембрана и њихова кератинизација, смањују отпорност животиња на улазак различитих патогених микроорганизама у телесна ткива. Због тога, говеда дефицитарна у витамину А постају осетљивија на ниске температуре и пнеумонију, а живина на кокцидиозу. Употреба А витаминских додатака

побољшава производне перформансе оболеле живине. Повећане потребе живине у витамину А, са паразитним инфекцијама, највероватније представљају последицу лошије апсорпције због оштећења мукозе дигестивног тракта.

Значај витамина А за пораст костију. Дефицит у витамину А изазива успоравање пораста костију. У оваквих животиња нормалан облик костију је измењен. Кости постају порозне, краће и задебљане. Прекид у развоју костију, вероватно је везан за утицај витамина А на биосинтезу мукополисахарида, који представљају главну компоненту органске материје у костима. Тако, витамин А омогућава одговарајући пораст матрице хрскавице. Престанак развоја кичме и других костију, због недостатка витамина А, доводи до механичког притиска на нерве. Промене у костима изазивају притисак на видни нерв, што има за последицу стално слепило говеда. Негативан утицај на пораст костију условљава успорен пораст животиња. Такође, депресија у конзумирању хране представља први знак недостатка витамина А.

Утицај витамина А на репродукцију животиња. Репродуктивни систем мушких и женских животиња веома је осетљив на недостатак витамина А. Ово се може објаснити променама епитела ових органа. Дефицит витамина А у мушких животиња, доводи до дегенерације епитела тестиса и престанка сперматогенезе. У женских животиња витамин А је неопходан за одржавање епитела вагине, а дефицит у току бременитости доводи до ресорпције плаценте или спонтаног побачаја. При недостатку витамина А може доћи до деформација у развоју фетуса.

Супротно од младунаца сисара, резерве витамина А у жуманцету јајета довољне су да спрече појаву дефицита у првих неколико недеља живота, у време када се живина храни са оброцима дефицитарним у витамину А. Ниво витамина А у жуманцету јајета може се повећати при исхрани кокоши носиља са повећаним количинама витамина А у оброку.



Слика 15. Кератокоњуктивитис коза
(<https://en.wikipedia.org/wiki/Keratoconjunctivitis>).

Последице вишка (хипервитаминозе) витамина А. Организам животиња располаже добрим заштитним механизмом против мембранолитичке активности, површински високо активних једињења, као што су ретинол или његови естри. Он се састоји у везивању витамина за специфичне протеине, који везују ретинол у крвној плазми, на површини ћелије. Токсичне размере се остварују када дневно

конзумирање витамина А достигне 50-500 пута веће количине од дневних потреба. У оваквим случајевима, могућност депоновања у јетри и капацитет транспорта серума превазиђен је и долази до појаве хипервитаминозе. Ово укључује поремећаје у јетри, праћене акумулацијом масти у јетри. Ломљивост костију, се такође повећава услед ресорпције матрикса костију и хрскавице, а дужина и дебелина костију се смањују.

ВИТАМИН D

Синоними: калциферол, антирахитични витамин

До сада је откривено око 25 биолошких форми овог витамина, које представљају деривате стероида. Од њих само два (D_2 и D_3) су значајни у исхрани животиња. Витамини D_2 и D_3 настају деловањем ултравиолетног зрачења на стероиде ергостерол и 7-дехидрохолестерол. Ергостерол се производи у биљкама, плеснима и квасцима, а 7-дехидрохолестерол у ткивима животињског организма. Ови прекурсори немају биолошку активност. Излагање животиња сунчевој светлости краће време у току дана, довољно је за трансформацију провитамина у кожи у витамин D_3 који елиминира потребе за његовим присуством у храни. Витамин D_2 је у сисара готово подједнако ефикасан као и витамин D_3 , док је у живине витамин D_2 потпуно неактиван. Због тога, храна за живину обавезно мора садржати витамин D животињског порекла или синтетички витамин D_3 .

Извори витамина D. Потребе у витамину D се изражавају у форми интернационалних јединица (IJ). Једна IJ витамина D представља активност 0,025 μ g витамина D_3 за све врсте животиња, и витамина D_2 само за сисаре. Најбољи извори витамина D_3 су јетра и уље из јетре риба (10.000-4.000.000 IJ/100 g рибљег уља). Међу производима животињског порекла, млеко и жуманце јајета садрже витамин D, али присутна количина зависи од сезоне када се ови производе и количине витамина D присутног у храни крава музара и кокоши носиља (просечно 260 IJ/100 g јаја и 1-4 IJ/100 g млека). Садржај витамина у млеку се може повећати додавањем витамина храни крава.

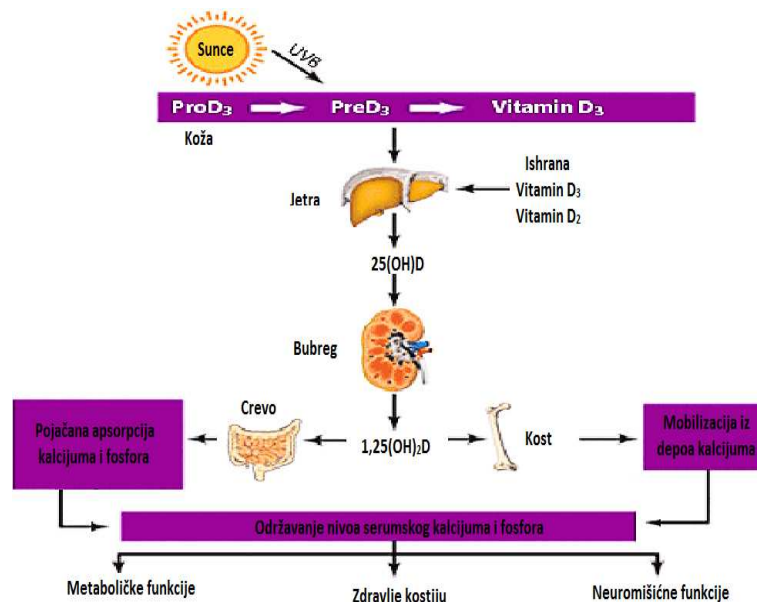
Ергостерол, провитамин витамина D_2 , јавља се обично у биљкама, а трансформише се у витамин D_2 при излагању покошених биљака сунчевом светлу. Тако, нпр. 1 kg сена садржи између 800 и 1.700 IJ. Квасац је богат извор ергостерола, а зрачењем постаје још богатији у витамину D за већину животиња. Озрачени 7-дехидрохолестерол користи се као додаток храни за живину. Мада се витамини D_2 и D_3 производе зрачењем, они су међутим, нестабилни при претераном зрачењу. Такође, нестабилни су на оксидацију, до које долази у току лагровања, али у мањој мери од витамина А. Концентрати витамина D, као и витамина А, протектирају се додавањем антиоксиданата.

Физиолошка улога витамина D. Витамин D има значајну улогу у регулисању метаболизма калцијума и фосфора, односно помаже апсорпцију калцијума и фосфора у цревима и утиче на процес минерализације костију. У одсуству витамина D минерализација коштаног матрикса је смањена, што има за последицу појаву *рахитиса* у младих животиња и *остеомалацију* или крте, ломљиве кости у одраслих.

Витамин D је јединствен међу витаминима зато што се природно јавља у само неколико хранива и може се формирати у организму, при излагању коже

ултравиолетним зрацима (светлост кратке таласне дужине и високе фреквенције). Зато се овај витамин назива витамином осунчавања.

Апсорпција витамина D, као и липида, одвија се из мицеларног раствора у цревима. Витамин D, апсорбован из црева, улази у крвоток и преноси се до различитих ткива организма, а нарочито јетре (слика 16). Витамин D₃ бива метаболисан у јетри у форму 25-хидроксивитамин D₃ [25-(OH)D₃]. Ова форма не делује директно на одређено ткиво, већ претходно мора бити модификована. Транспортује се до бубрега, где се хидролизује деловањем ензима, ради формирања 1,25-дихидроксивитамина D₃ [1,25-(OH)₂D₃]. Добијено једињење представља физиолошки активну форму витамина D.



Слика 16. Метаболички пут настанка хормонски активне форме витамина D (на основу Al Rekhawi и сар., 2017).

Потребно је знати да 1,25-(OH)₂D₃ представља хормоналну форму витамина D. Испуњава све критеријуме једног хормона, тј. произведен је на једном месту (у бубрезима), а испољава своју активност на другом (у цревима и костима). Његова производња се регулише посредством *feedback* система. У јетри се ограничава формирање 25-(OH)D₃ инхибирањем 25-хидроксилазе. Ова контрола ограничава сувишно формирање активних деривата витамина D, када се витамин налази у незнатном вишку изнад потребних количина. Одвојено од овога, овако контролисана трансформација витамина D₃, омогућава чување витамина D за каснију употребу, пошто се витамин D и његови неактивни деривати не могу депоновати у организму за наредних неколико месеци. Витамин D се може депоновати у свим телесним ткивима богатим у мастима, супротно од витамина A који се првенствено депонује у јетри.

Обим формирања активног метаболита 1,25-(OH)₂D₃, у непосредној је вези са потребама животиња у калцијуму и фосфору, а њихов *feedback* систем регулисан је концентрацијом калцијума и фосфата у крвном серуму. За повећан ниво калцијума у плазми, потребна је већа количина 1,25-(OH)₂D₃. Висок ниво калцијума доводи до смањења производње 1,25-(OH)₂D₃, и супротно.

Метаболити витамина D, 25-(OH)D_3 и $1,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$, транспортују се у крвној плазми, везани за протеине који имају већи афинитет за ова једињења него за одговарајуће деривате витамина D_2 . Овим се може објаснити нижа биолошка активност D_2 у сисара. Поред тога, недостатак калцијума изазива лучење паратиреоидног хормона, који повремено стимулише ензимску трансформацију 25-(OH)D_3 у $1,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$. Поред тога, паратиреоидни хормон директно повећава апсорпцију калцијума из црева и његово искоришћавање за формирање костију. Високи нивои $1,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$ утврђени су у живине која носи јаја, пошто долази до мобилизације калцијума из коштане сржи за формирање љуске. Када нивои калцијума у крви достигну нормалне вредности, или су у сувишку, у том случају долази до обустављања формирања активног метаболита $1,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$. При овим условима, регулаторну функцију преузимају бубрези, увођењем 24-хидроксилацијом, која води формирању $24,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$ из 25-(OH)D_3 и $1,24,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$ из $1,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$. Затим, 24-хидроксилација води у правцу инактивирања потенције метаболита витамина D.

Потребе у витамину D и симптоми недостатка. Различите врсте животиња захтевају различите форме и количине витамина D. Пилићи имају знатно веће захтеве по јединици телесне масе (100 IJ/kg TM) од свиња (25 IJ/kg), а свиње веће од говеда (5 IJ/kg). Турке имају чак веће захтеве и од пилића. Део разлике у потребама различитих врста животиња може се објаснити интензитетом пораста. Животиње са великим интензитетом пораста, а то значи и брзим порастом костију, знатно су подложније појави симптома недостатка.

Потреба за додавање оброку преживара витамина D, није тако велика као у случају свиња и живине. Преживари могу синтетизовати потребне количине витамина D зрачењем у току боравка животиња на паши или из сена сушеног на сунцу. У животиња које нису изложене сунцу, нарочито живина, ендогена производња витамина D не обезбеђује њихове потребе. Због тога, оброцима ових животиња неопходно је додавање концентрата витамина D. Додавање витамина D оброку телади, неопходно је када су животиње минимално изложене деловању сунчевих зрака. Употреба витамина D и његових метаболита је значајна за контролу млечне грознице, пошто животиње са млечном грозницом као и метаболичким поремећајем костију, реагују на веома мале дозе синтетичког $1, \alpha \text{ (OH)D}_3$ и $1,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$.

Потребе у витамину D зависе од садржаја калцијума и фосфора у оброку. Ако су количине или однос ових минерала у оброку субоптималне, потребе у витамину D се повећавају. Међутим, витамин D не може компензовати изразити дефицит у овим минералима. Потребе непреживара, такође, повећавају се када оброк садржи изворе слабо доступног фосфора, као што је то фитат.

Типични знаци недостатка витамина D су *рахитис*, у младих животиња (слика 17), и *остеомалација*, који су изазвани неадекватном калцификацијом костију. У питању је сувишно формирање деминерализованог матрикса костију, претежно због недовољне апсорпције калцијум фосфата. Клинички симптоми значајно се разликују у појединих врста животиња. У телади долази до отока метакарпалних и метатарзалних костију, и лучног повијања предњих ногу уназад. У свиња долази до увећања зглобова, лома костију и хромости животиња. У пилића зглобови постају увећани, кљун мекан и гумаст и лако се криви. У кокоши носила јаја имају танку љуску, проценат лежења и носивост су смањени.



Слика 17. Осмодневни пилићи бројлера са рахитисом (Dinev, 2012).

Последице хипервитаминозе витамина D. Када додата количина витамина D obroку прелази најмање десет пута потребе животиња, у току неколико месеци, редовно долази до тровања, познатог под именом хипервитаминоза D. Вишак витамина D изазива појаву симптома супротних од оних који се јављају у случају рахитиса. Као резултат овога је повећање ресорпције из костију, због чега кости постају крте и деформисане. Калцијум мобилисан из костију, депонује се у неким ткивима, као што су то зглобови, артериоле плућа и бубрези. Оштећење бубрега је нарочито велико.

ВИТАМИН Е

Синоними: токоферол, антистерилитетни витамин, витамин плодности, антидиетрофични витамин

Витамин Е је есенцијална хранљива материја у исхрани свих врста животиња. Први пут је откривен у биљним уљима, пре свега у уљу клица. Овај витамин је присутан у малим количинама у свим ћелијама организма. Растворљив је у мастима и функционише као заштитник ћелијских мембрана, а и других хранљивих материја као што су полинезасићене масне киселине или витамин А. Витамин Е има улогу заштите свих ових материја од деструктивних оксидација.

Грађа и особине витамина Е. Витамин Е укључује две групе: *токофероле* и *токотриеноле*, који се производе у зеленим биљкама. Назив "витамин Е" односи се на одређену смешу физиолошки активних токоферола. Четири форме токоферола означене као α , β , γ и δ - токоферол, разликују се само у броју метил група и њиховом положају око бензоловог прстена. Међутим, α -токоферол је једини присутан у животињском организму и храни животињског порекла и има највећу биолошку активности.

Токоферол су веома отпорни на топлоту, али се лако оксидишу помоћу ужеглих масти или у присуству минерала додатих храни. Пошто естерификација побољшава стабилност токоферола, ово се обично обезбеђује уношењем у оброк естар ацетата (соли сирћетне киселине). Једна интернационална јединица витамина Е је еквивалентна 1 mg синтетичког *d,l*- α -токоферол ацетата. При томе, *d*-изомер је активнији од *l*-форме. Усвојене јединице и биолошка потенција за α -токоферол су

следеће: међународни стандард, 1 mg *dl*- α -токоферил ацетат=1 интернационална јединица (IJ), те је:

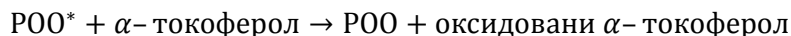
1 mg *dl*- α -токоферол ацетат = 1,0 IJ

1 mg *dl*- α -токоферол = 1,1 IJ

1 mg *d*- α -токоферол ацетат = 1,35 IJ

1 mg *d*- α -токоферол = 1,49 IJ

Метаболизам витамина Е. Апсорпција Е витамина се одвија исто као и витамина А и D, преко мицела формираних у цревима из масти хране, у обиму од 20 до 40%. Највећи део витамина Е бива транспортован у форми β -липопротеинске фракције плазме. Супротно од витамина А, витамин Е се не депонује искључиво у јетри. Адипозно ткиво и мишићи, такође, представљају велике депое овог витамина. Витамин Е делује као антиоксидант при чему доноси фенолни атом водоника до слободног радикала, формираног од незасићене масне киселине:



На овај начин врши се инактивирање неспареног електрона радикала, а у исто време овај подлеже трансформацији до форме хинона. Због тога, витамин А, каротин, витамин С и полинезасићене масне киселине, а нарочито оне присутне у липидима ткива (претежно фосфолипиди), заштићени су од активности слободног радикала и оксидације. Пошто слободни радикал катализује пероксидно оштећење масти у ћелијама и интрацелуларним просторима и промене у пропустљивости ћелијских мембрана. Овај процес се јавља при недостатку Е витамина и служи као објашњење за различите патолошке последице у случајевима дефицита витамина Е.

Када је у питању недовољна количина доступног витамина за блокирање радикала и спречавање формирања пероксида, у том случају ензим који садржи селен, *глутатион пероксидаза*, игра додатну заштитну улогу. Глутатион пероксидаза метаболише пероксиде полинезасићене масне киселине, као и водоник пероксид. Витамин Е и селен заједнички делују у заштити субћелијских мембрана, против оштећења која изазива пероксид. Витамин Е се може сматрати првом препреком у одбрамбеном систему превенирања оксидације полинезасићених масних киселина, а глутатион пероксидаза, представља другу препреку у том систему. Овај ензим врши разарање пероксида, пре него што они почну са оштећењем мембране.

Витамин Е смањује потребе животиња у селену, спречавањем реактивних аутооксидација липида, а нарочито оних унутар мембрана, инхибирајући тако производњу пероксида. Ово доводи до смањења количине глутатион пероксидазе, која садржи селен, потребан за разградњу пероксида формираних у ћелији.

Симптоми недостатка витамина Е у живине. При недостатку витамина Е у живине долази до појаве три различита обољења: *енцефаломалације*, *ексудативне дијатезе* и *нутритивне мишићне дистрофије*. Од великог је практичног значаја да се сва ова обољења могу превенирати или лечити, поред витамина Е и другим једињењима као што су синтетички антиоксиданси и аминокиселинама које садрже Se и S.

Енцефаломалација. Ово обољење назива се још и "*crazy chick disease*" и представља нервни синдром, кога карактерише атаксија, невољни покрети ногу и главе. Мозак оболеле живине је омекшао и отечен због појаве хеморагије и едема.

Обољење се јавља у младих пилића, храњених оброцима дефицитарним у витамину Е, а који садрже одређене полинезасићене масне киселине, као што је линолна киселина. Појава и интензитет овог обољења значајно се повећава са степеном пероксидације масти у оброку. Пилићи са симптомима енцефаломалације реагују на витамин Е или одређене антиоксиданте растворљиве у мастима, али не на селен или аминокиселине хране, које садрже сумпор. У превенирању енцефаломалације, витамин Е функционише као антиоксидант. Болест се може спречити синтетичким антиоксидантом, ако је овај апсорбован и може доспети до ћелијске мембране, где превенира оксидацију полинезасићених масних киселина.

Ексудативна дијатеза. Ова се болест у великој мери може превенирати селеном. Витамин Е може умањити потребе у селену, али не може у потпуности заменити селен. На ово обољење нема утицаја присуство одређених нивоа антиоксиданата или цистина у оброку.

Нутритивна мишићна дистрофија. При исхрани оброцима сиромашним у витамину Е и аминокиселинама које садрже сумпор, а богатим у незасићеним масним киселинама, неке врсте животиња оболевају од мишићне дистрофије (слика 18). У пилића ово стање карактерише дегенерација мишићних влакана (миопатија), пре свега мишића груди и екстремитета. Аминокиселина цистеин има основну улогу у превенирању мишићне дистрофије у пилића. Случајеви овог обољења повећавају се деловањем фактора хране, који доводе до исцрпљивања цистина у организму. Слични знаци мишићне дистрофије јављају се при недостатку витамина Е у патака и ћурака. У ћурака долази до појаве лезија у зиду мишићног желуца. Ово обољење у пилића се може превенирати додавањем храни витамина Е или цистина, а у патака додавањем само витамина Е. У ћурака, међутим, селен представља најважнији фактор, одговоран за превенирање мишићне дистрофије.



Слика 18а. Лезије (воштана дегенерација) на срцу телета са дефицитом витамина Е.



Слика 18б. Калцификација зидова срчаних комора на срцу телета са дефицитом витамина Е.

(https://projects.ncsu.edu/project/swine_extension/nutrition/nutritionslides/slides.htm)

Утицај витамина Е на репродукцију животиња. Први утврђени симптом дефицита витамина Е је поремећај репродукције у женки пацова, због угињавања и ресорпције фетуса. При оваквом режиму исхране, дошло је до дегенерације тестиса у пацова и петлова. Међутим, у људи и преживара није доказана веза између стерилитета и недостатка витамина Е. Разлог овоме је, највероватније, немогућност извођења дуготрајних експеримената ове врсте.

Мада практични оброци за кокоши носиле садрже довољне количине витамина Е за нормалну носивост и лежење јаја, ћурке захтевају уношење у оброк витамина Е за максимално лежење јаја.

Ниво витамина Е у крвном серуму и телесним ткивима новорођене телади је низак, због неефикасног трансфера кроз плаценту. Међутим, колострум и млеко обезбеђују значајне количине витамина Е. Пошто су количине витамина Е, присутне у ткивима новорођених телади и мајчином млеку под утицајем obroка мајке, оброцима стеоних крава потребно је додавати адекватне количине витамина Е.

Потврђивањем чињенице да је селен есенцијални елемент за животиње је утврђено да он превенира или лечи нека обољења, која су раније приписивана недостатку витамина Е.

Извори витамина Е. Укупне количине токоферола и α -токоферола, најактивнијег токоферола, у различитим хранивима, приказан је у табели 33. Практично, α -токоферол је једини токоферол присутан у зеленим биљкама и производима животиња. Његов садржај је прилично висок у зеленим биљкама, али је низак у хранивима животињског порекла. Клице житарица, а нарочито уље клица, као и друга биљна уља, представљају веома богате изворе токоферола. У већини случајева уобичајена хранива обезбеђују довољне количине токоферола за највећи број врста животиња. У циљу осигурања довољних количина овог витамина за приплодну и живину у порасту, α -токоферол ацетат редовно треба додавати овим животињама. Додавање токоферола оброцима бројлера и живине, такође побољшава укусност меса, пошто токоферол депонован у телесним ткивима инхибира оксидацију незасићених масних киселина. Исто тако, витамин Е смањује појаву оксидисаног укуса у млеку.

Табела 33. Просечан садржај укупних токоферола и α -токоферола у различитим хранивима (mg токоферола/kg СМ) (Јовановић и сар., 2001).

Храниво	Укупан токоферол	α -токоферол
Зелена кабаста хранива	200 – 400	200 - 400
Луцеркино брашно	190 – 250	180 - 240
Пшеничне мекиње	30 – 35	15 - 18
Зрно кукуруза	4 – 10	0,5 - 3,0
Сојина сачма	3 – 6	1
Рибље брашно	21	21
Уље из клица пшенице	1700 – 5000	800 - 1200
Сунцокретоно уље	500	350
Сојино уље	1000	100

Процењене дневне потребе у витамину Е се крећу у просеку од 10 до 40 mg/kg obroка за већину животињских врста. Међутим, поред варијација у потребама међу врстама, евидентне су и значајне разлике између различитих категорија исте врсте. Тако, дневне потребе за витамином Е код товних свиња се крећу од 4 до 34 mg/kg obroка, у зависности од телесне масе. С друге стране, потребе за витамином Е код нерастова износе 42 mg/kg, док код крмача у лактацији потребе иду и до 134,2 mg/kg. Код живине се потребе крећу од 5-10 mg/kg за лаке и тешке кокошије хибриде, до 10-25 mg/kg за ћурке. Када су говеда у питању, у зависности од категорије, дневне потребе у витамину Е се процењују на 15-40 mg/kg код млечних, односно од 15-60 mg/kg код товних говеда. Пошто се витамин Е веома брзо

разграђује при оксидацији масти, отуда масти богате у полинезасићеним масним киселинама, повећавају потребе у овом витамину.

ВИТАМИН К

Синоними: филохинон, антихеморагични витамин, коагулациони витамин

Витамин К је познат и као "антихеморагични витамин", неопходан за синтезу протромбина и других фактора из јетре који учествују у коагулацији крви. Данас се термин витамин К користи за означавање хемијске групе хинон једињења која имају карактеристичан антихеморагични ефекат.

Структура и метаболичке функције витамина К. Има неколико различитих једињења, деривата нафтохинона, која имају К витаминску активност. Витамин К₁ (филохинон) се јавља у зеленим биљкама и семену. Витамин К₂ (менахинон) производ је бактеријске синтезе у румену и дебелом цреву. Синтетички нафтохинон деривати, као што су менадион и менадион натријум бисулфит, биолошки су активнији од витамина К₁ и К₂. Витамин К је неопходан за нормалну коагулацију крви. Време грушања представља добар индикатор статуса витамина К у организму. Нормално време грушања, од неколико секунди, може бити продужено на неколико минута, у животиња дефицитарних у витамину К.

Дефицит витамина К. Симптоми недостатка витамина К јављају се у практичним условима једино у пилића у интензивној производњи. Друге врсте и категорије животиња обезбеђују своје потребе из бактеријске синтезе у цревима. Пошто недостатак витамина К доводи до продуженог згрушавања крви, у пилића долази до појаве поткожних хеморагија на грудима, ногама, крилима или на површини црева (слика 19). Код оваквих пилића, крварење може довести до угинућа, чак и при незнатним повредама тела. Кокоши носиле, при дефициту витамина К производе ситна јаја, а пилићи излежени из оваквих јаја су дефицитарни и при лакшој повреди могу искрварити и угинути.

Обезбеђење животиња витамином К. Заједно са витаминима В комплекса микроорганизми у дигестивном тракту синтетишу и витамин К. Румен је најважније место синтезе витамина К у преживара, а количина формираног К витамина довољна је да обезбеди све потребе животиња. У непреживара синтеза витамина К се одвија у дебелом цреву, тј. иза зоне интензивне апсорпције хранљивих материја, тако да се произведени витамин излучује фецесом. Свиње узимањем фецеса (копрофагија) апсорбују из њега витамин К. Сисари нису у потпуности зависни од извора витамина К у храни. Међутим, додавање витамина К оброцима свиња, данас је широко раширена пракса, а нарочито за прасад која се одгајају у кавезима, код којих је приступ властитом фецесу немогућ.



Слика 19а. Спонтана поткожна крварења код пилета храњеног оброком дефицитарним у витамину К током 15 дана.



Слика 19б. Пиле истог узраста храњено адекватним оброком.

(https://projects.ncsu.edu/project/swine_extension/nutrition/nutritionslides/slides.htm)

Антагонисти витамина К. *Дикумарол* је добро познати природни антагонист витамина К. Дикумарол производе плесни које нападају кокотац (*Melilotus albus*). Конзумирање сена оштећеног у току сушења или силаже од кокоца, која садржи дикумарол, доводи до појаве тешких унутрашњих хеморагија, а понекад и угинућа телаци. Појава овог обољења познатог као тровање кокоцем, може се спречити додавањем храни животиња витамина К. *Варфарин*, синтетички антагонист витамина К, инхибира карбоксилацију прекурсора протромбина у јетри, па се због тога користи као отров за пацове. Сулфонамиди, унети у одговарајућим количинама, инхибирају синтезу витамина К у цревима непреживара.

Иако се у претходном делу текста говорило о потребама појединих врста животиња у витаминима растворљивим у мастима, ове потребе су, ради лакше прегледности, детаљно сумиране у табелама 34 и 35. Не само да су набројане најзначајније врсте животиња, већ и различите категорије унутар поједине врсте. Потребе животиња су изражене по kg хране на 100% суве материје.

Такође, ради боље прегледности, у табели 36 су наведена најзначајнија хранива за исхрану животиња и садржај витаминима растворљивим у мастима у њима. Садржај витамина у појединим хранивима је изражен на 100% суве материје. Синтетички облици витаминима растворљивих у мастима, али и води који се користе у припреми хране за животиње, њихове концентрације и начин примене су приказани у табели 40.

Табела 34. Потребе у витаминима растворљивим у мастима код преживара и коња (вредности су изражене по kg хране на 100% суве материје, уколико није другачије наведено) (McDowell, 2000).

Врста/категорија животиње	A	D	E	K
	IU	IU	IU	
Товна говеда				
Јунад у тову	2200	275	—	МС*
Стеоне јунице и краве	2800	275	—	МС
Краве и бикови	3900	275	—	МС
Јунад у порасту	—	—	15–60	—
Музне краве	IU	IU	IU	—
У порасту	2200	300	25	МС
У лактацији	3200	1000	15	МС
Замена за млеко	3800	600	40	—
	IU	IU/100 kg TM		
Овце				
Двиска, 60 kg	1567	555	15	МС
Гравидна овца, 70 kg	3306	555	15	МС
Овца у лактацији, 70 kg	2380	555	15	МС
Двизак, 70 kg	1979	555	15	МС
Овце, уздржне потребе, 70 kg	2742	555	15	МС
	IU	IU	IU	—
Козе				
Све категорије	5000	1400	100	МС
	IU	IU	IU	—
Коњи				
У порасту	2000	800	80	МС
Уздржне потребе	2000	300	50	МС
Радни	2000	300	80	МС
У гравидитету	3000	600	80	МС
У лактацији	3000	600	80	МС

*МС – микробијална синтеза

Табела 35. Потребе у витаминима растворљивим у мастима код моногастричних животиња (вредности су изражене по kg хране на 100% суве материје, уколико није другачије наведено) (McDowell, 2000).

Врста/категорија животиње	A	D	E	K
	IU	IU	IU	Mg
Свиње				
Свиње у порасту и тову				
3–10 kg	2200	220	16	0,5
10–20 kg	1750	200	11	0,5
20–120 kg	1300	150	11	0,5
Приплод				
Назимице и крмаче	4000	200	44	0,5
Нерастови	4000	200	44	0,5
Крмаче у лактацији	2000	200	44	0,5
Живина				
Носиље				
Пораст				
0–6 недеља	1500	200	10	0,5
6–18 недеља	1500	200	5	0,5
18 недеља до проношења	1500	300	5	0,5
Бројлери				
0–8 недеља	1500	200	10	0,5
Ћурке				
0–4 недеља	5000	1100	12	1,75
4–8 недеља	5000	1100	12	1,5
8–12 недеља	5000	1100	10	1
12–20 недеља	5000	1100	10	0,75
20–24 недеља	5000	1100	10	0,5
	IU	IU	mg	Mg
Уздржне потребе	5000	1100	10	0,5
Носиље	5000	1100	25	1

Табела 36. Садржај витамина растворљивих у мастима у појединим хранивима (изражен на 100% суве материје) (McDowell, 2000).

Храниво	Каротин Провитамин А	А	Д	Е	К
	mg/kg	IU/g	IU/kg	mg/kg	mg/kg
Сено луцерке	58	—	1575	113	21,6
Лишће луцерке, сушено	88	—	373	—	—
Јечам, зрно	2	—	—	25	0,2
Корен шаргарепе, свеж	678	—	—	60	—
Црвена детелина, сено	20	—	1914	—	—
Кукуруз, жути, прекрупа	1	—	—	—	—
Кукуруз, жути, зрно	3	—	—	25	0,2
Кукуруз, силажа	43	—	439	—	—
Млеко, дехидрирано (кравље)	—	12,3	353	—	—
Млеко, обрано, дехидрирано	—	—	446	10	—
Меласа	—	—	—	7	—
Овас, зрно	—	—	—	15	—
Грашак, зрно	1	—	—	3	—
Уљана репица, сачма	—	—	—	20	—
Раж, зрно	—	—	—	17	—
Сирак, зрно	1	—	26	10	0,2
Сирак, силажа	15	—	662	—	—
Соја, зрно	1	—	—	37	—
Сојина сачма	—	—	—	3	—
Сунцокретова сачма	—	—	—	—	—
Тритикале, зрно	—	—	—	—	—
Пшеничне мекиње	3	—	—	21	—
Пшеница, зрно	—	—	—	17	—
Сурутка, дехидрирана (из крављег млека)	—	0,5	—	—	—
Квасац, дехидрирани	—	—	—	2	—

3.5.2. ВИТАМИНИ РАСТВОРЉИВИ У ВОДИ

Општа карактеристика витамина ове групе је њихова растворљивост у води, стим да већина ових витамина има улогу коензима. За разлику од витамина растворљивих у мастима, витамини растворљиви у води, са изузетком цианокобаламина (витамин B_{12}), не депонују се у телесним ткивима у значајним количинама. Због тога је свакодневно снабдевање животиња из спољашњих извора ових витамина веома важно и неопходно.

Најзначајнији представници витамина растворљивих у води су витамини В комплекса, витамин С, биотин, бетаин, инозитол, пара-аминобензојева киселина и друга једињења.

Витамини В комплекса присутни су у хранивима, углавном, у везаној форми, као коензими. Из ових разлога, претходно се морају ослободити у дигестивном тракту, деловањем одговарајућих ензима, да би се могли искористити. Транспорт витамина из дигестивног тракта у крвоток, а потом у одређена ткива, може захтевати присуство одговарајућег протеина, који врши транспорт одређеног витамина. Витамини В комплекса су присутни у свим ћелијама биљака и животиња, а у значајним количинама и у већем броју хранива. Отуда, оброцима свиња и живине треба додавати само одређене витамине. У одраслих преживара и коња, потребе у витаминима В комплекса обезбеђују се у потпуности микробиолошком синтезом у румену и дебелом цреву. Потребе младих преживара, са неразвијеним руменом, обично се обезбеђују млеком.

ВИТАМИН B_1

Синоними: тиамин, анеурин, антинеуритични витамин, антиберибери витамин

Ово је први из групе витамина В комплекса, који је добијен у чистој форми. Мистерија *берибери*, древне болести у људи истока, који су се хранили пиринчем, била је коначно решена када је утврђено да је ова болест последица дефицита тиаминa. Све врсте животиња имају захтеве у тиамину. Животиње морају добијати храном овај витамин, изузев када га синтетизују микроорганизми у органима за варење, као што је то случај са преживарима.

Симптоми недостатка. Због присуства релативно великих количина тиаминa у хранивима, а посебно у зрнима житарица, уобичајени оброци за свиње и живину лако обезбеђују њихове потребе у витамину B_1 . У практичним условима исхране мало је вероватно да ће свиње и живина патити од недостатка тиаминa. Пошто се тиамин депонује у организму у малим количинама, непреживари захтевају свакодневно снабдевање храном. Једини изузетак су свиње, које могу депоновати прилично велике количине тиаминa у телесним ткивима.

Пошто је метаболизам угљених хидрата у животиња дефицитарних у тиамину смањен, долази до акумулирања пирогрођане и млечне киселине у крви и можданом ткиву. Овакво стање у животиња изазива нервне поремећаје. Класично обољење је *полинеуритис* у живине, које представља касну фазу дефицита и доводи до појаве периферног неуритиса. Симптоми нервних поремећаја јављају се само у завршној фази. Први симптоми недостатка тиаминa у живине и свиња су анорексија (губитак апетита), *брадикардија* (успорен рад срца), *повећање срца* и *поремећаји дигестивног тракта*, што има за последицу општу слабост организма. При продужавању дефицита у пилића, долази до појаве *парализе мускулатуре*,

животиње леже на савијеним ногама и са главом повијеном у назад. Повлачење главе последица је парализе предњег вратног мишића (слика 20).



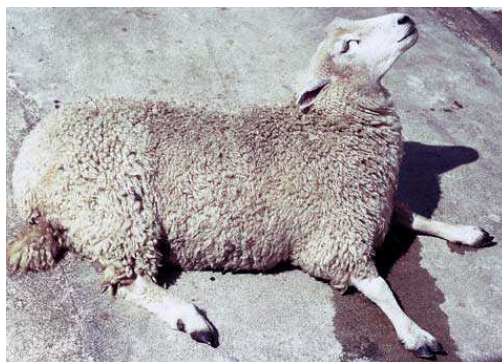
Слика 20а. Опистотонус код пилета са недостатком тиамина.



Слика 20б. Опистотонус и лоше оперјавање код пилета са недостатком тиамина.

(https://projects.ncsu.edu/project/swine_extension/nutrition/nutritionslides/slides.htm)

До дефицита у тиамину, поред младе телади и јагњади, исто тако може доћи и у товне јунади и јагњади храњених оброцима богатим лако растворљивим угљеним хидратима, а сиромашним у целулози. Ову болест, познату под именом *полиенцефаломалација* (слика 21), прати поремећај нервног система, као и поремећај вида и грчење мишића, који се могу лечити интравенозним додавањем тиамина. Мада се у преживара и коња потребе у тиамину обезбеђују микробиолошком синтезом, у појединих животиња, ипак, може доћи до симптома недостатка тиамина при исхрани са папратима у којима се налази природни антителиамин.



Слика 21. Полиенцефаломалација у оваца

<https://teara.govt.nz/en/photograph/17440/polioencephalomalacia-in-sheep>

Антиметаболити тиамина и тиаминаза. Природне тиаминазе су узрок недостатка тиамина у неколико врста животиња. *Chastek*-ову *парализу* лисица и других животиња, које у исхрани користе сирову рибу, изазива ензим *тиаминаза* присутна у рибама. Овај ензим разграђује тиамин и доводи до појаве симптома недостатка овог витамина. Тиаминаза цепа молекула тиамина на две компоненте, и тако чини овај витамин неактивним. Тиаминазу разграђује топлота. До тровања коња папратима долази због узимања тиаминазе. *Ампролин* је слаб антиметаболит

тиамина, а користи се редовно као кокцидиостатик у савременим оброцима за исхрану живине.

ВИТАМИН В₂

Синоними: рибофлавин, лактофлавин

Рибофлавин је присутан у свим живим ћелијама. Као и ниацин и рибофлавин има есенцијалну улогу у механизмима оксидације у ћелијама организма. Још у 19. веку утврђено је постојање жуто-зеленог флуоресцентног пигмента у сурутци. Овај пигмент, који поседује флуоресцентна својства, назван је флавин.

Хемизам рибофлавина. Рибофлавин синтетизују готово све врсте биљака, тако да га има практично у свим биљним материјалима, затим квасцима, гљивама и бактеријама. Квасац, јетра, млеко, сурутка и пивски троп веома су богати извори рибофлавина. Микроорганизми присутни у дигестивном тракту, врше синтезу извесних количина рибофлавина, неопходног за све врсте животиња. Сви одрасли преживари обезбеђују своје потребе у овом витамину микробиолошким синтезом у румену тако да нема потребе за његовим уношењем храном. Извесни типови бактерија производе веома велике количине рибофлавина, па се користе у индустријским поступцима ферментације за производњу рибофлавина, који се касније користи као додатак у оброцима животиња. Хемијски и бактериолошки синтетисан, рибофлавин се користи као додатак храни за животиње.

Симптоми недостатка рибофлавина. Недостатак рибофлавина доводи до смањења производње енергије. Због тога, дефицитарне животиње редовно конзумирају 15-20% више енергије од животиња адекватно храњених, због непотпуне оксидације хране. Општи знак недостатка рибофлавина је смањен прираст младих животиња.

Различита патолошка оштећења прате недостатак рибофлавина (слике 22 и 23). Два највише подложна ткива у пилића су епител и опне нерава, неких од главних нервних стабала. Нерв ишијаса може бити увећан и до шест пута у односу на нормални дијаметар. У кокоши носиља дефицит у рибофлавину нема утицаја на производњу јаја. За разлику од овога, проценат лежења смањује се при недостатку рибофлавина у трајању од две недеље. Ово стање се може нормализовати у току једне недеље, додавањем рибофлавина у оброк животиња. Недостатак рибофлавина у свиња изазива задебљање коже, повијање и укоченост ногу, праћено појавом осипа, замућењем сочива и катарактом. Затим долази до анорексије, повраћања и рађања слабе прасади.

Потребе животиња у рибофлавину. Оброцима пилића и приплодних кокошака, обавезно треба додавати синтетички рибофлавин. Међутим, садржај рибофлавина у оброцима кокоши носиља, обично је довољан да обезбеди њихове потребе. Потребе живине у рибофлавину смањују се старењем животиња. Пилићи оболели услед недостатка рибофлавина, могу се опоравити у току каснијег периода тога, чак и када садржај рибофлавина у оброку није промењен. Обично се рибофлавин додаје и оброцима свиња, пошто се уобичајени оброци на бази зрна кукуруза и соје, налазе на граници дефицитарности у рибофлавину. Ово је нарочито случај са младим свињама и назимицама за приплод. Са порастом нивоа протеина и масти у оброку,

повећавају се потребе свиња у рибофлавину, што је у складу са функцијама коензима који садрже рибофлавин у метаболизму протеина и масти.



Слика 22. Ноћно слепило код коња изазвано недостатком рибофлавина.

Слика 23. Изглед пилета са оброком дефицитарним у рибофлавину.

(https://projects.ncsu.edu/project/swine_extension/nutrition/nutritionslides/slides.htm)

ВИТАМИН В₃ (НИАЦИН)

Синоними: никотинамид, никотинска киселина, витамин ПП (превентивни фактор пелагре)

Ниацин је један од витамина В комплекса и представља заједнички назив за никотинску киселину и никотинамид. Обе представљају природне форме витамина са истом активношћу. У организму животиње они су активни као никотинамид аденин динуклеотид (NAD) и никотинамид динуклеотид фосфат (NADP) и служе као коензими, често заједно са тиамин и рибофлавин коензимима, за производњу енергије унутар ћелија.

Откриће улоге ниацина, као витамина В групе, био је резултат дуге борбе против пелагре. Пелагра се ширила са ширењем кукуруза и његовог коришћења у исхрани људи. У току 19. века пелагра је била распрострањена у готово свим земљама Европе и Африке. Пре тога, пелагра је дуго времена била присутна у Северној и Јужној Америци, где је добила размере епидемије на југу САД пре грађанског рата. Избијање болести било је тако широко распрострањено и у оштрој форми да је већина лекара сматрала као узрок инфекцију или токсичну супстанцу у плеснивом кукурузу.

Хемизам и потребе у ниацину. Никотинска киселина или ниацин је β -карбоксилна киселина пиридина. *Никотинамид* је биолошки активна форма. *Никотинска киселина* је безбојна кристална материја, растворљива у води и алкохолу. Ово је једна од најстабилнијих материја, које се додају храни животиња. Потребе животиња у ниацину су под утицајем следећих фактора:

(1) многа хранива, нарочито зрна житарица, а у мањој мери и уљане сачме, садрже ниацин у везаној форми који је недоступан непреживарима. Само 10% ниацина, присутног у кукурузу и 40% у уљаним сачмама, доступно је свињама и живини. Третирањем ових хранива са алкалним растворима, ослобађа се ниацин из његове везане форме и постаје потпуно доступан.

(2) присуство триптофана, као есенцијалне аминокиселине у храни, може смањити потребе животиња у ниацину, пошто се овај синтетизује у организму животиња из триптофана. Ако се триптофан налази у оброку у вишку у односу на потребе за синтезу телесних протеина, вишак може бити употребљен као прекурсор за никотинску киселину.

На биосинтезу ниацина има утицаја и дебаланс аминокиселина, који може бити изазван присуством сувишних количина леуцина у оброку. Одређени вишак леуцина присутан је и у зрну кукуруза. Због тога, постоје три разлога због којих је употреба кукуруза за обезбеђење ниацина критична: присуство ниацина у везаној форми, низак садржај триптофана и присуство леуцина у сувишку. Количина ниацина депонованог у организму, углавном у јетри, није тако велика као осталих витамина В комплекса. Преко урина излучују се највеће количине ниацина. Ниацин се излучује из организма преживара непромењен, што није случај са непреживарима. У живине никотинска киселина је коњугована са орнитином, као диникотинил орнитин.

Ниацин се често користи ради превенције кетозе код музних крава, али оваква његова употреба нема чврсту научну потпору. У великој већини истраживања додатак ниацина није утицао на појаву обољења и производњу млека. Ово може бити последица тога што се велики део ниацина присутног у храни разгради у бурагу, тако да се у новије време покушава са употребом додатака ниацина протектираног од буражне разградње.



Слика 24. Дефицит ниацина код пилића.

(<https://www.asas.org/taking-stock/blog-post/taking-stock/2013/01/02/photo-of-the-week-niacin-deficient-chick>)

Симптоми недостатка ниацина. Недостатак ниацина доводи до појаве *пелагре*, метаболичког обољења човека и свих врста животиња. У случају пелагре, одсуство NAD и NADP изазива лезије на епителу уста и гастроинтестиналног тракта. Карактеристичан симптом пелагре у свиња је тзв. "црни језик" (*black tongue*). Следећи симптоми недостатка ниацина у свиња су дерматитис, диареја, анорексија и смањен прираст.

У пилића дефицит у ниацину доводи до упале уста, дијареје и слабог оперјавања, али је најважнији симптом увећање скочних зглобова и повијање ногу (слика 24), слично *перозису* (деформација костију). Разлика између овог стања и перозиса је што при недостатку никотинске киселине не долази до обољења Ахилове тетиве. Ћурке и патке показују исте симптоме, само у много оштријој форми. У односу на пилиће, ћурићи, пачићи и гушчићи имају веће потребе у ниацину. Већи захтеви ових врста животиња, могу довести до појаве слабости ногу.

ВИТАМИН B₅

Синоним: пантотенска киселина

Пантотенска киселина представља веома важну компоненту коензима А (CoA), који игра кључну улогу у метаболизму енергије.

Извори пантотенске киселине. Пантотенска киселина је веома распрострањена у природи (назив води порекло од грчке речи "пантотхен", а што значи "свуда"), несумњиво због њене веома важне биохемијске улоге у метаболизму угљених хидрата, масти и протеина. Утврђено је њено присуство у великим количинама у квасцу, млеку, рибама и производима животиња. Добри извори пантотенске киселине су брашно лишћа луцерке, арашидова уљана сачма и отпаци при полирању пиринча. Зрно кукуруза веома је сиромашан извор пантотенске киселине, чија је количина знатно испод потреба већине животиња.

Симптоми недостатка. При недостатку пантотенске киселине долази до лезија на нервном систему, кори надбубрежне жлезде и кожи животиња. У пилића први симптоми недостатка пантотенске киселине су заостајање пораста и слабије оперјавање. Даљи знаци дефицита су: јак дерматитис, лезије налик на красте на рубовима уста и око очију и очним капцима, који су састављени. Дерматитис се може појавити на дну стопала (слика 25а). Перје је поломљено, а појављује се и мијелинска дегенерација. Проценат лежења значајно је смањен, а излежени пилићи не могу изаћи из љуске. Искоришћавање метаболичке енергије хране смањено је у пилића у порасту. Због дефицита пантотенске киселине из организма се ослобађа више топлоте, остављајући мање енергије за продуктивне потребе, што има за последицу значајно смањење количине протеина и масти депонованих у организму.

Свиње дефицитарне у овом витамину имају краставу кожу, танку длаку, повећану секрецију око очију, гастроинтестиналне сметње и ненормалан ход, са укрућеним задњим ногама, познат под именом "гушчији ход", до кога долази услед дегенерације и демијелизације дорзалних нерава (слика 25б).

Потребе у пантотенској киселини. Потребе за производњу јаја су мале и уобичајени оброци садрже довољне количине овог витамина. Међутим, потребе су значајније за осигурање нормалног пораста младих пилића и добро лежење. Калцијум пантотенат се обично додаје обrocима пилића и кокоши носиља. Додавање пантотената је неопходно при исхрани свиња великим количинама зрна житарица и сојине сачме. Код преживара, буражни микроорганизми синтетишу велике количине пантотенске киселине, али постоји могућност да код високопроизводних грла додатак овог витамина може имати позитивне ефекте, што се још увек истражује.



Слика 25а. Дефицит пантотенске киселине код пилића.
(<http://www.poultrydvm.com/condition/pantothenic-acid-deficiency>)



Слика 25б. Карактеристичан "гушчији ход" услед дефицита пантотенске киселине код свиња.
(http://www.dsm.com/markets/anh/en_US/Compendium/swine/pantothenic_acid.html)

ВИТАМИН В₆

Синоними: пиридоксин, адермин

Витамин В₆ представља заједнички назив за три блиско повезана једињења, која се јављају у природи: пиридоксин, пиридоксал и пиридоксамин. Пиридоксин је присутан углавном у биљним производима, док се пиридоксал и пиридоксамин јављају претежно у анималним производима.

Извори витамина В₆. Витамин В₆ је широко распрострањен у природи, где се појављује у форми фосфата сва три деривата. Квасац је нарочито богат извор овог витамина. Пошто се јавља у прилично високим концентрацијама у већини биљног материјала, у односу на потребе животиња, у практичним условима исхране проблеми са недостатком пиридоксина веома су ретки. Насупрот томе, многе од аналитичких вредности за садржај пиридоксина су мале, пошто се микробиолошки тест изводи са организмима који користе само једну од форми овог витамина.

Симптоми недостатка. Симптоми недостатка витамина В₆ слични су у различитих врста животиња и укључују: промене на кожи и нервним ткивима, анемију и смањен пораст. У пилића долази до појаве анорексије и лошег пораста. Нервни симптоми укључују трзаје ногу при кретању и изненадне грчеве, знатно интензивније од оних које изазива недостатак токоферола, који су праћени потпуном исцрпљеношћу. У одраслих кокошака смањена је носивост и проценат лежења јаја, а у петлова инволуција тестиса и кресте.

У свиња дефицитарних у пиридоксину смањен је пораст, јављају се конвулзије и микроцитна, хипохромна анемија, са депонованем великих количина гвожђа у слезини. Дефицит пиридоксина смањује отпорност свиња. Животиње дефицитарне у пиридоксину, излучују урином велике количине оксалне киселине. Ова киселина се формира у току поремећеног метаболизма аланина, серина и других једињења.

Потребе животиња у пиридоксину. Због велике распрострањености овог витамина у хранивима, уобичајени оброци обезбеђују довољне количине за све врсте непреживара. Потребе пилића у овом витамину, повећавају се порастом

процента протеина у оброку или аминокиселина као што су метионин или триптофан, пошто је овај витамин укључен у метаболизам аминокиселина. Потребе у овом витамину, такође се повећавају у присуству ланене уљане сачме у оброку.

БИОТИН

Синоним: витамин Н

Хемизам биотина. Биотин и тиамин представљају витамине који садрже сумпор. При томе, *d*-биотин је форма која се јавља у природи и која се синтетички добија и користи као додатак храни животиња. То је бели кристални прах, без мириса, растворљив у води и алкохолу. У нормалним условима је стабилан, али се разграђује у јаким алкалијама или раствору киселина.

Извори и симптоми недостатка. Насупрот веома важној улози биотина у метаболизму животиња, случајеви недостатка биотина веома су ретки. Различите врсте непреливаца имају мале захтеве у биотину, које се најчешће обезбеђују храном. При томе, такође, треба имати у виду, да се и микробиолошким синтезом у дигестивном тракту, а нарочито у животиња са копрофагијом, обезбеђују одређене количине овог витамина. Биотин, присутан у хранивима, довољан је да подмири потребе животиња. Зрна житарица лоши су извори биотина, а од укупне количине биотина у зрну пшенице, јечма и рибљем брашну, свега 40-50% доступно је животињама. За разлику од ових, биотин у зрну кукуруза, уљаним сачмама и зеленим хранивима потпуно је доступан.

Поуздано је утврђено да *Streptomyces* spp. бактерије, присутне у земљишту и измету, производе *стрептавидин* и *справидин*, материје које испољавају сличну антивитаминску активност када је у питању биотин као беланце јајета. Загревањем долази до инактивисања ових протеина антагониста. Додавање сулфо препарата оброцима животиња, такође, може изазвати појаву дефицита у биотину. Ови препарати елиминишу микробиолошку синтезу, а присуство ужегеле масти инактивира биотин.

Недостатак биотина у оброку пилића изазива смањен пораст, а перје постаје ломљиво. Лезије у живине су сличне онима које се јављају при недостатку пантотенске киселине, али се дерматитис прво појављује на ногама. Стопала постају груба, а прсти некротични и ољуштени. Касније лезије на кожи проширују се на очи и предео око кљуна. Биотин је један од нутритивних фактора, заједно са манганом, чије обезбеђење је неопходно за превенирање перозе (слика 26). Мале количине биотина, у оброку приплодне живине, изазивају смањено лежење и наказност у развоју ембриона. Ћурке су веома осетљиве на недостатак биотина (слика 26). Потребе ћурака су 2-3 пута веће од потреба пилића. Утврђено је да масна јетра и бубрежни синдром, фатално стање у пилића и ћурића, метаболички је поремећај везан за недостатак биотина. Сматра се да је услед губитка активности пирограђане карбоксилазе, глукогеногетска активност јетре смањена. Као реакција на ниске нивое глукозе у крви, долази до мобилизације слободних масних киселина и инфилтрације у ткива.

Симптоми недостатка биотина у свиња слични су знацима који се јављају при недостатку других В витамина: дерматитис, који се може проширити на читаво тело, и пуцање коже на ногама, што отежава кретање животиња. У свиња у порасту брзина пораста и ефикасност искоришћавања хране су смањени. У приплодних крмача недостатак биотина испољава негативан утицај на производне перформансе.

Када су у питању преживари, биотин је есенцијалан је за формирање рожине папака, као и интегритета коже и длаке. Од непроцењивог је значаја за два главна процеса током производње рожине: синтезу кератинских протеина и формирање интрацелуларне цементирајуће супстанце. Такође, значај биотина се огледа у његовој улози у процесу глуконеогенезе, синтези масних киселина и разлагању неких масних и аминокиселина. Иако преживари могу самостално да стварају биотин у румену, многа истраживања су доказала његову метаболичку и протективну улогу у очувању структуре рожине. Говедима су давани суплементи биотина у количини од 20 mg/дневно, током шест месеци, и утврђено је да биотин превенира деформитете рожине за чак 45%, крварења и улцере табана, дигитални дерматитис и ерозије пете. Биотин се редовно додаје код исхране телади у заменама за млеко.



Слика 26. Недостатак биотина - приказ перозе скочног зглоба код ћурака.
(<http://www.avpa.asn.au/veterinarian-support/biotin-deficiency/>)

ФОЛНА КИСЕЛИНА

Синоними: фолацин, витамин B₁₀, витамин B₁₁, птероилглутаминска киселина

Назив фолна киселина или фолацин означава групу уско повезаних супстанци, есенцијалних за све кичмењаке, за њихов нормалан пораст и репродукцију, поремећаја у крви, за важне биохемијске механизме унутар сваке ћелије и превенирање различитих симптома дефицита у различитих врста животиња. Истраживања везана за фолну киселину или фолацин, представљају једно од најсложенијих на подручју витамина В комплекса.

Хемизам фолне киселине. Структурна формула птероил-L-глутаминске киселине је најједноставнија форма фолне киселине. Молекул је изграђен од глутаминске киселине, парааминобензојеве киселине и птеридина. Птероилглутаминска киселина се кристализује у форми жутих плочица. Ово једињење незнатно је растворљиво у води и веома растворљиво у алкохолу. Прилично је стабилно једињење при уобичајеним условима држања.

Симптоми недостатка фолне киселине. Фолна киселина је укључена у биосинтезу пурина. Ова синтеза је смањена при дефициту фолне киселине, а смањена синтеза пурина доводи до дефицита у нуклеопротеинима за сазревање

ћелија крви. Као последица овога, јавља се анемија и појава бледих мишића. Утицај недостатка фолне киселине на метаболизам, заједно са променама у крвној слици, доводи до слабости, губитка апетита и дијареје. Поред тога, повећана је осетљивост животиња на инфекције, пошто је смањена синтеза имуноглобулина. Поред анемичног изгледа, лошег оперјавања и недовољне пигментације перја, јавља се и успорен пораст животиња (слика 28). Поред смањеног процента лежења јаја, у кокоши носила недостатка фолне киселине изазива угињавање и наказност у преживелих ембриона. Јављају се нервни поремећаји у ћурака.



Слика 28а. Пиле са дефицитом фолне киселине (тешка апатија и анемија).

(https://projects.ncsu.edu/project/swine_extension/nutrition/nutritionslides/slides.htm)



Слика 28б. Контролна јединка без дефицита фолне киселине.

Извори и потребе у фолној киселини. Фолна киселина је распрострањена у хранивима биљног и животињског порекла. Садржај фолне киселине у састојцима хране и количине које синтетишу бактерије у цревима, довољне су да подмире потребе непреживара. Додавање овог витамина препоручује се оброцима пилића, а нарочито гусака.

Потребе животиња у фолној киселини повећавају се при укључивању сулфо препарата у њихове оброке. Микробиолошка синтеза фолне киселине инхибирана је у присуству сулфо препарата, због сличности у хемијској структури п-аминобензоеве киселине и сулфо препарата.

ВИТАМИН В₁₂

Синоними: цианокобаламин, антианемични витамин, АРФ-фактор

Витамин В₁₂ има сложенију хемијску структуру од свих других витамина. Састоји се од неколико блиско повезаних једињења са сличном активношћу. Термин “кобаламини” примењен је за ову групу супстанци, пошто сви чланови ове групе садрже кобалт (Co). За разлику од других витамина, више биљке не могу синтетисати витамин В₁₂, стим да га могу синтетисати микроорганизми.

Извори витамина В₁₂. У природи витамин В₁₂ готово искључиво настаје микробиолошким синтезом. Њега синтетишу бројне бактерије, а у мањој мери квасци и гљивице. Овај витамин је широко распрострањен у хранивима животињског порекла. Јетра животиња је нарочито богат извор овог витамина. Његово присуство у ткивима животиња, последица је конзумирања животињских

производа, интестиналне или руминалне синтезе. Феџес животиња представља богат извор, пошто микроорганизми дигестивног тракта синтетишу велике количине овог витамина. Биљни производи су практично лишени присуства овог витамина.

Хемијска структура и функције витамина B_{12} . Витамин B_{12} једини је витамин који садржи атом метала-кобалт. Један од услова за активност витамина B_{12} је присуство атома кобалта у центру тзв. корин језгра. Витамин B_{12} се мора трансформисати у организму у једну од природних форми, као што је хидроксикобаламин у коме је циано група замењена једном хидрокси групом. Овај витамин ће испунити своје метаболичке функције после трансформације у коензим B_{12} , у коме је један молекул 5'-деоксиаденозина везан за атом кобалта. Биохемијски процеси, који зависе од присуства коензима B_{12} , одвијају се у бактеријама и ткивима животиња:

Метилмалонил мутаза. Коензим B_{12} је активни састојак у метилмалонил мутази, ензиму неопходном за трансформацију метилмалонил-КоА у сукцинил-КоА. Ова реакција представља битан корак у искоришћавању пропионске киселине из румена, за глуконеогенезу или производњу енергије преко циклуса трикарбонских киселина. Отуда, недостатак витамина B_{12} смањује искоришћавање пропионата. Депресија у искоришћавању пропионске киселине, један је од разлога осетљивости оваца на недостатак витамина B_{12} , односно дефицит у кобалту.

Витамин B_{12} трансметилаза. Витамин B_{12} и фолна киселина укључени су у процесе трансметилације. Трансметилација је услов за синтезу једног броја аминокиселина. Нпр. формирање метионина из хоmocистеина, стим да у одсуству витамина B_{12} обим реакције опада, због чега долази до појаве дефицита у фолној киселини и метионину.

Биосинтеза DNA. Витамин B_{12} и фолна киселина су потребни за биосинтезу DNA. Због тога, недовољно уношење у организам животиња ове две киселине, доводи до смањења деобе ћелија, а затим до појаве нутритивних анемија.

Апсорпција и транспорт витамина B_{12} . Апсорпција витамина B_{12} из црева, захтева присуство супстанце носача, а то је гликопротеин који се лучи у желудац. Ова супстанца се назива "*intrinsic factor*" - унутрашњи фактор (IF), пошто се синтетише у самом организму и функционише заједно са унетим витамином B_{12} . У одсуству унутрашњег фактора долази до појаве дефицита у витамину B_{12} . Комплекс који је формиран у дигестивном тракту, од витамина B_{12} и унутрашњег фактора, долази у илеум, а затим пиноцитозом апсорбује преко ћелија мукозне мембране. Овај комплекс потом се разграђује, а ослобођени витамин B_{12} транспортује се у серум и везује за друге протеине носаче. Витамин B_{12} , који не улази у интермедијарну употребу, депонује се у јетри.

Снабдевање животиња витамином B_{12} и симптоми недостатка у непреживара. Обезбеђивање свиња и живине потребним количинама витамина B_{12} од посебног је значаја. Но, и поред тога, симптоми изразитог недостатка овог витамина у практичним условима исхране веома су ретки. Потребне за обезбеђивањем малих количина овог витамина лако се подмирују уношењем у оброк синтетичког витамина B_{12} . Чист витамин B_{12} добија се као споредни производ у производњи одређених антибиотика. Витамин B_{12} кога синтетишу бактерије црева, од ограничене је вредности, пошто се ова синтеза одвија у задњим деловима интестиналног тракта, иза подручја активне апсорпције. Свиње и живина, са

слободним приступом властитом фецесу, на овај начин обезбеђују значајне количине витамина B_{12} . Количина потребног витамина B_{12} веома је мала, у односу на друге витамине. Нпр. 1 kg хране за пилиће треба да садржи око 9 μg , док су потребе у B_{12} витамину 4 mg.

У пилића у порасту недостатак витамина B_{12} смањује пораст телесне масе, а може бити праћен и секундарним симптомима, који нису специфични за овај витамин, као што су нервни поремећаји и поремећаји у оперјавању. У категорији живине за производњу јаја, дефицит витамина B_{12} има за последицу опадање производње, а нарочито процента лежења. Смањену виталност ембриона прати опадање концентрације витамина у жуманцету јајета. Млада прасади имају сразмерно велике потребе у витамину B_{12} (20 $\mu\text{g/kg}$ хране). Заостајање у порасту је најизразитији симптом недостатка витамина B_{12} у прасади у порасту, за разлику од видљивих знакова (груба кожа, љускање длаке, нервни поремећаји, дискоординација покрета задњих ногу). Репродуктивне перформансе крмача (мала легла, тежина и виталност прасади), поред осталог, зависе и од количине обезбеђеног витамина B_{12} .

Недостатак витамина B_{12} у преживара. Кобалт је есенцијални микроелемент за преживаре. Једина његова функција је у микробиолошкој синтези витамина B_{12} у румену. Симптоми недостатка витамина B_{12} у преживара јављају се услед недостатка кобалта. На нивоу телесних ткива, витамин је потребан као део коензима, који омогућава искоришћавање пропионске киселине. Неколико хранидбених фактора може утицати на синтезу витамина B_{12} у румену. Тако, рестрикција кабастих хранива може смањити синтезу витамина B_{12} . Пошто соли неорганског кобалта задовољавају потребе преживара за производњу витамина B_{12} , младунци непреживара упућени су искључиво на обезбеђење својих потреба у овом витамину из млека.

ВИТАМИН С

Синоними: Л-аскорбинска киселина, антискорбутни витамин

Витамин С представља биолошки веома важну супстанцу. Овај витамин је прво утврђен у цитрусном (јужном) воћу, које превенира скорбут, једну од најстаријих болести људи. Изгледа да све врсте животиња имају потребе у витамину С, али су “хранидбене потребе” ограничене само на људе.

Функције и симптоми недостатка витамина С. Витамин С функционише као антиоксиданс и у неким процесима може деловати као витамин Е. Учествује у конверзији фолне у фолинску киселину и повећава апсорпцију гвожђа у цревима, пре свега одржавањем гвожђа у редукованој, лакше апсорптивној форми. Мада се потребе животиња обезбеђују синтезом у ткивима, често се наводи да стрес, изазван неповољним условима спољашње средине (пораст температуре и влажности ваздуха, или субклиничка обољења), могу повећати потребе у витамину С, а да под овим условима животиње могу реаговати на витамин присутан у храни. Има доказа да се успорен пораст пилића и смањена производња јаја у кокоши, у условима високих спољашњих температура, са успехом могу савладати додавањем храни аскорбинске киселине. Такође, треба напоменути, да у првих неколико недеља живота телад имају ограничен капацитет за синтезу аскорбинске киселине. Обезбеђивање телади са витамином С, обично је преко млека.

Ипак, појава недостатка витамина С се најчешће среће код примата и морског прасета (слика 29). Дуготрајни недостатак овог витамина доводи до развоја обољења које се назива скорбут. Дефицит витамина С код ових животиња доводи до слабљења зидова крвних судова услед смањене синтезе колагена, што резултира појавом крварења у усној дупљи, на кожи и унутрашњим органима. Ови симптоми се јављају након 2 недеље дефицитарне исхране.



Слика 29. Морско прасе храњено оброком са недостатком витамина С.
([http://www.fondleface.com/content.aspx?Page=Scurvy-\(Vitamin-C-deficiency\)&Category=Guinea%20Pig%20Diseases&cmsid=6Bg4yCwSg+k=](http://www.fondleface.com/content.aspx?Page=Scurvy-(Vitamin-C-deficiency)&Category=Guinea%20Pig%20Diseases&cmsid=6Bg4yCwSg+k=))

ХОЛИН

Синоними: витамин Б₄, неурин, билинеурин

Холин представља кључну компоненту лецитина и има веома важну улогу у превенирању “масне јетре”, преносу нервних импулса и метаболизму масти. О класификацији холина, као витамина, још увек се расправља, пошто овај не обезбеђује све критеријуме за витамине, а нарочито за витамине В комплекса. Један од разлога за ово је чињеница да се холин користи у много већим количинама од других В витамина. Поред тога, сам организам животиње може синтетизовати значајне количине холина, смањујући на тај начин његове потребе у храни. Специфични симптоми дефицита нису запажени у човека.

Хемизам и функција холина. Холин хлорид је бела кристална материја, веома хигроскопна са изразито алкалним својствима. Холин хлорид је веома реактивна и врло корозивна супстанца. Обично се додаје храни животиња као 75% раствор или 50-60% концентрат, помешан са неким сувим носачем (пшеничне мекиње или сточно брашно).

Најважније физиолошке функције холина су следеће: (1) битан је за формирање ацетилхолина, једињења које је физиолошки важно за трансмисију нервних импулса. (2) Холин је потребан, заједно са другим хранљивим материјама, а нарочито мангановим солима, за превенирање обољења костију кокоши, познатог под називом *перозис* (деформација костију живине). (3) Холин, метионин и бетаин су липотропне супстанце, тј. превенирају абнормално накопљање масти у јетри, подстицањем отклањања триглицерида из јетре, преко њихове трансформације у

лецитине. (4) Холин обезбеђује лабилне метил групе за један број метаболичких процеса, као што је формирање метионина из хомоцистеина и креатина присутног у мишићима.

Снабдевање и потребе у холину. Већина животиња може биосинтезом обезбедити потребне количине холина, чак и кокоши носиле, мада јаја садрже значајне количине холина, присутног готово у потпуности у везаној форми, као фосфолипиди. У животиња у порасту, пилића и свиња, обим биосинтезе холина није довољан да обезбеди њихове потребе. Због тога, у случају недостатка холина, прираст животиња може бити смањен. Потребне у холину знатно су веће него у другим витаминима В комплекса. Тако, нпр. пилићи захтевају 200 пута већу количину холина него рибофлавина. Међутим, обична хранива најчешће у потпуности обезбеђују потребе животиња у порасту у холину. И поред тога, уобичајена је пракса да се холин додаје оброцима пилића у порасту.

Симптоми недостатка холина. Симптоми недостатка холина у пилића и свиња, изражавају се појавом успореног пораста, масном инфилтрацијом јетре и перозе. До појаве симптома недостатка холина у свиња у порасту може доћи при исхрани оброцима сиромашним у метионину. Симптоми се манифестују општом слабошћу, одсуством координације покрета и масном јетром. Потребне животиња у холину необично су високе, али насупротив томе симптоми недостатка веома су ретки, због његове велике распрострањености у природи и могућности добијања из метионина.

БЕТАИН

Бетаин, у основи, не припада витаминима, али због сличне функције са холином, биће овде разматран. Бетаин је терцијарни амин односно триметил-глицин који је присутан у већини организама. Високе концентрације бетаина су присутне у шећерној репи и најчешће се индустријски добија из меласе. Има га у житарицама попут пшенице и јечма, док га у кукурузу има знатно мање. Бетаин се већ дуго користи као додатак храни за животиње. Најпре је коришћен као замена за метионин и холин у храни за живину и рибе, где је имао улогу донора метил-група и улогу осморегулатора. Утврђено је и да смањује садржај масти код свиња и живине. Иако се најчешће додаје у смеше, такође може бити додат у воду за пиће, нарочито када се користи за ублажавање пролива код живине.

Животиње не могу да синтетишу метил-групе због чега је неопходно да их уносе храном. Метил-групе су неопходне за једну од најважнијих биохемијских реакција у организму – циклус трансметилације. Постоје подаци да бетаин приближно три пута ефикасније преводи хомоцистеин у метионин. Утврђено је да је холин неопходан за превенцију појаве перозе код живине (појава деформисања костију ногу), док код свиња и преживара, као резултат дефицита холина, долази до појаве масне јетре. Највећи део метионина унетог храном користи се за синтезу протеина. У реакцији са АТР-ом, у циклусу трансметилације, метионин даје S-аденозил-метионин (SAM), који је главни донор метил-група за различите реакције. Када SAM преда метил-групу као производ се добија хомоцистеин. Под дејством ензима у јетри, у реакцији између хомоцистеина и бетаина настаје метионин који онда може поново да учествује у циклусу трансметилације. Због тога се додавањем бетаина у храну смањује потребна количина метионина. Такође, хомоцистеин је токсичан у већим концентрацијама, тако да може негативно да утиче на здравље

животиња, а посредно и човека. Зато је веома значајна његова конверзија у метионин под дејством бетаина.

Утврђено је да бетаин може да замени 15-20% укупних потреба за метионином. Такође, додавањем бетаина смањује се потребна количина холина. На овај начин се у значајној мери може смањити цена хране. Дакле, бетаин као донор метил-група може делимично да замени холин и метионин у храни, али не у потпуности. Бетаин може да утиче на метаболизам масти и тиме на количину масти у месу. Различита испитивања су показала да додавање бетаина у храну за свиње смањује садржај масти без утицаја на остале параметре раста. Код прасади је утврђено да долази до смањења садржаја масти и повећања садржаја протеина.

У данашњем интензивном живинарству, због великог броја животиња по квадратном метру повећан је ризик од инфекција различитим паразитима. Ове инфекције доводе до упала слепог црева или јетре (хистомонозе) или упала у дигестивном систему (кокцидиозе), које су најчешће праћене појавом пролива при чему се нарушава осмотска равнотежа ћелија. Осмолитичко деловање бетаина ублажава ове симптоме. Наиме, услед дехидратације долази до скупљања ћелије и, уколико то потраје, њене смрти. Такође, повећане концентрације неорганских јона у ћелији доводе до успоравања ћелијског метаболизма. Ћелија се од оваквих ситуација брани деловањем тзв. мембранске јонске пумпе (калијум-натријумова пумпа), која враћа воду у ћелију, али се притом троши велика енергија. Тиме се смањује количина енергије која је животињи на располагању за раст или продукцију (млека, јаја). Бетаин ово спречава тиме што се акумулира у ћелијама и задржава воду.

ИНОЗИТОЛ

Експерименти са животињама изведени средином прошлог века показали су да је инозитол есенцијалан хранидбени фактор и од многих истраживача сврстан у витамине В комплекса. Данас је његова класификација као витамина спорна. Вероватно је боље његово сврставање у есенцијалне хранљиве материје, пре него у витамине, за одређене врсте бактерија и животиња. Поред свега тога, уврштавање у витамине В комплекса доста је устаљено за инозитол и у литератури широм света.

Хемизам. Инозитол је безбојна у води растворљива и слатка кристална материја. Отпоран је на деловање киселина, база и температуре. Инозитол постоји у 9 различитих форми, али је утврђено да једино *мио-инозитол* има биолошку активност. Хексафосфорна киселина, естар инозитола је *фитинска киселина*, једињење које чврсто везује фосфор, чинећи га недоступним за апсорпцију у организму животиња.

Метаболизам и функције инозитола. Поред извора инозитола у храни, синтетизује се и у ћелијама. Мио-инозитол је присутан у релативно великим количинама у ћелијама практично свих животиња и биљака. У ћелијама животиња инозитол се јавља као компонента фосфолипида. У биљним ћелијама налази се у форми фитинске киселине, органске киселине која везује калцијум, гвожђе и цинк у нерастворљиви комплекс и ремети њихову апсорпцију. Депонује се у великој мери у мозгу, срчаном мишићу и скелетним мишићима. Мале количине инозитола обично се излучују урином.

Још нису у потпуности утврђене све функције инозитола, али се поуздано зна за следеће:

- инозитол има одређени *липотропни ефекат* (афинитет за масти, као холин), помаже у метаболизму масти и редукцији садржаја холестерола у крви животиња.
- у комбинацији са холином, инозитол превенира очвршћавање масти у крвним судовима и на тај начин штити срце.
- служи као прекурсор фосфоинозита, који су утврђени у различитим телесним ткивима, а нарочито у мозгу.

Мио-инозитол је фактор пораста за одређене квасце и бактерије и неколико нижих организама. Дефицит у инозитолу је утврђен у пилића, риба, замораца, свиња и пацова.

Извори инозитола. У богате изворе инозитола спадају зрна житарица (кукуруз, овас, јечам, пшеница, сирак), легуминозе, брашно од јетре, месно брашно, млеко, пшеничне мекиње, пшеничне клице и квасац. Нема поузданих доказа да животиње не могу да синтетизују потребне количине инозитола. Због тога је његова класификација у групу витамина, још увек под знаком питања. Инозитол је широко распрострањен и у анималним хранивима.

ПАРА-АМИНОБЕНЗОЈЕВА КИСЕЛИНА (РАВА)

Пара-аминобензоева киселина (РАВА) састојак је многих хранива, која се понекад, сврстава у групу витамина В комплекса. Поред тога што је фактор пораста за одређене бактерије, РАВА има значајну активност фолацина, када се даје животињама у чијој интестиналној синтези учествује фолацин. За више животиње РАВА је есенцијални део молекула фолацина. Међутим, она нема витаминску активност у животиња које добијају обилне количине фолацина и може бити произведена у интестиналном тракту помоћу микробиолошке синтезе, због чега није потребна у оброку.

Хемизам и метаболизам. РАВА је жута, кристална и у води незнатно растворљива супстанца. Хемијска структура је веома слична неким од сулфонамида, чиме се може објаснити зашто ова једињења инхибирају раст микроорганизама. У виших животиња РАВА функционише као есенцијални део молекула фолацина, а ако су услови у цревима повољни, организам животиње производи властиту РАВА.

Симптоми недостатка и тровања. Симптоми дефицита нису утврђени у животиња. До сада није утврђен токсичан ефекат РАВА на животиње. Међутим, ако се настави са високим дозама, може доћи до гађења и повраћања.

Извори. Хранива која се сматрају богатим изворима ове киселине су: јаја (осушена), рибље брашно, брашно од јетре, арашидова сачма, сојина сачма. Добри допунски извори су лецитин, синтетичка РАВА, клице пшенице, квасац (пивски).

Табела 37. Потребе у витаминима растворљивим у води код преживара и коња (вредности су изражене у mg/kg хране на 100% суве материје, уколико није другачије наведено) (McDowell, 2000).

Врста/категорија животиње	V ₁	V ₂	V ₃	V ₅	V ₆	Биотин	Фолна кисел.	V ₁₂
Товна говеда								
Стеоне јунице, краве и бикови, јунад у порасту и тову	МС*	МС	МС	МС	МС	МС	МС	МС
Музне краве								
У порасту и лактацији	МС	МС	МС	МС	МС	МС	МС	МС
Замена за млеко	6,5	6,5	2,6	13	6,5	0,1	0,5	0,07
Овце								
Двиска (60 kg), гравидна овца, овца у лактацији, двизак, овце (уздржне потребе, 70 kg)	МС	МС	МС	МС	МС	МС	МС	МС
Козе								
Све категорије	МС	МС	МС	МС	МС	МС	МС	МС
Коњи								
У порасту, у гравидитету, у лактацији	3	2	МС	МС	МС	МС	МС	МС
Радни	5	2	МС	МС	МС	МС	МС	МС

*МС – микробијална синтеза

Табела 38. Потребе у витаминима растворљивим у води код моногастричних животиња (вредности су изражене по kg хране на 100% суве материје, уколико није другачије наведено) (McDowell, 2000).

Врста/категорија животиње	V ₁	V ₂	V ₃	V ₅	V ₆	Биотин	Фолна кисел.	V ₁₂
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	µg
Свиње								
Свиње у порасту и тову								
3–5 kg	1,5	4	20	12	2	0,08	0,3	20
5–10 kg	1	3,5	15	10	1,5	0,05	0,3	17,5
10–20 kg	1	3	12,5	9	1,5	0,05	0,3	15
20–50 kg	1	2,5	10	8	1	0,05	0,3	10
50–120 kg	1	2	7	7	1	0,05	0,3	5
За приплод: назимице и крмаче, нерастови, крмаче у лактацији	1	3,75	10	12	1	0,2	1,3	15
Живина								
Носиље								
Пораст								
0–6 недеља	1	3,6	27	10	3	0,15	0,55	9
6–12 недеља	1	1,8	11	10	3	0,1	0,25	3
12–18 недеља	0,8	1,8	11	10	3	0,1	0,25	3
18 недеља до проношења	0,8	2,2	11	10	3	0,1	0,25	4
Бројлери								
0–3 недеља	1,8	3,6	35	10	3,5	0,15	0,55	10
3–6 недеља	1,8	3,6	30	10	3,5	0,15	0,55	10
6–8 недеља	1,8	3	25	10	3	0,12	0,5	7
Ћурке								
0–4 недеља	2	4	60	10	4,5	0,25	1	3
4–8 недеља	2	3,6	60	9	4,5	0,2	1	3
8–16 недеља	2	3	50	9	3,5	0,125	0,8	3
16–24 недеља	2	2,5	40	9	3	0,1	0,7	3
Уздржне потребе	2	2,5	40	9	3	0,1	0,7	3
Носиље	2	4	40	16	4	0,2	1	3

Табела 39. Садржај витамина растворљивих у води у појединим хранивима (изражен у mg/kg суве материје, уколико није другачије наведено) (McDowell, 2000).

Храниво	V ₁	V ₂	V ₃	V ₅	V ₆	Биотин	Фолна кисел.	V ₁₂
								µg/kg
Сено луцерке	3	13,4	42	28,6	—	0,2	3,6	—
Лишће луцерке, сушено	4,6	20,6	47	29	—	0,28	5,8	—
Јечам, зрно	5	1,8	94	9,1	7,3	0,17	0,6	—
Корен шаргарепе, свеж	5,8	4,9	58	30,1	12	0,07	1,2	—
Црвена детелина, сено	2,2	17,8	43	11,2	—	0,11	—	—
Кукуруз, жути, прекрупа	1	1,1	8	4,2	—	—	—	—
Кукуруз, жути, зрно	3,8	1,4	28	6,6	5,3	0,08	0,3	—
Кукуруз, силажа	—	—	47	—	—	—	—	—
Млеко, дехидрирано (кравље)	3,9	20,6	9	23,8	4,9	0,4	—	—
Млеко, обрано, дехидрирано	3,9	20,5	12	38,6	4,5	0,35	0,7	54
Меласа	1,2	3,8	49	50,3	5,7	0,92	0,1	—
Овас, зрно	7,1	1,7	16	8,8	2,8	0,31	0,4	—
Грашак, зрно	5,2	2	36	21	1,7	0,22	0,3	—
Перје, хидролизовано	0,1	2,1	23	9,7	3,2	0,05	0,2	90
Уљана репица, сачма	1,9	3,3	168	9,8	—	—	—	—
Раж, зрно	4,2	1,9	21	9,1	2,9	0,06	0,7	—
Сусам	3	3,6	20	6,4	13,4	—	—	—
Сирак, зрно	4,7	1,4	43	12,5	5	0,42	0,2	—
Сирак, силажа	—	—	—	—	—	—	—	—
Соја, зрно	10,6	3,1	24	17,3	—	0,37	3,9	—
Сојина сачма	6,2	3,2	31	18,2	6,7	0,36	0,7	—
Сунцокретова сачма	3,4	3,4	293	33,3	12,4	—	—	—
Тритикале, зрно	—	0,5	—	—	—	—	—	—
Пшеничне мекиње	7,9	4,6	268	33,5	9,6	0,32	1,6	—
Пшеница, зрно	4,8	1,6	64	11,4	5,6	0,11	0,5	1
Сурутка, дехидрирана (из крављег млека)	4,3	29,4	11	49,6	3,6	0,38	0,9	20
Квасац, дехидрирани	99,2	38,1	482	118,4	39,8	1,08	10,3	1

Табела 40. Синтетички витамини који се користе у припреми хране за животиње, њихове концентрације и начин примене (DSM, 2016).

Витамин	Назив препарата	Садржај (мин.)	Технологија формулације	Примена*
Витамин А	ROVIMIX® 1000	А 1.000.000 IU/g	фино гранулиран прах	М, Р, EXP, EXT
	ROVIMIX® А 500 WS	500.000 IU/g	прах осушен распршивањем, дисперзиван у води	MR/W
	ROVIMIX® 1000/200	AD ₃ витамин А 1.000.000 IU/g витамин D ₃ 200.000 IU/g	фино гранулиран прах	М, Р, EXP, EXT
β-karoten	ROVIMIX® carotene 10%	β- 10% (100 g/kg)	енкапсулиране капљице	М, Р, EXP, EXT
	ROVIMIX® carotene 10% P	β- 10% (100 g/kg)	фино гранулиран прах	М, Р, EXP, EXT
Витамин D ₃	ROVIMIX® D ₃ -500	500.000 IU/g	прах осушен распршивањем, дисперзиван у води	М, Р, EXP, EXT, MR/ W
	ROVIMIX® 1000/200	AD ₃ витамин А 1.000.000 IU/g витамин D ₃ 200.000 IU/g	фино гранулиран прах	М, Р, EXP, EXT
25OH-D ₃	ROVIMIX® 1,25%	Hy.D® 1,25% (12,5 g/kg)	прах осушен распршивањем, дисперзиван у води	М, Р, EXP, EXT, MR/ W
Витамин Е	ROVIMIX® Adsorbate	Е-50 500 IU/g (50%)	адсорбован на силицијумовој киселини	М, Р, EXP, EXT
	ROVIMIX® SD	Е 50 500 IU/g (50%)	прах осушен распршивањем, дисперзиван у води	М, Р, EXP, EXT, MR/ W
Витамин К ₃	К ₃ MSB	менацион: 51,5% (515 g/kg)	фини кристални прах	М, Р, EXP, EXT, MR/ W
	ROVIMIX® MNB	К ₃ менацион: 43% (430 g/kg) никотинамид: 30,5% (305 g/kg)	фини кристални прах	М, Р, EXP, EXT, MR/ W
Витамин В ₁ (тиамин)	ROVIMIX® B ₁	98% (980 g/kg)	фини кристални прах	М, Р, EXP, EXT
	Thiamine Hydrochlorid	98% - 101%	фини кристални прах	MR/W
Витамин В ₂	ROVIMIX® B ₂ SD	80% (800 g/kg)	прах осушен распршивањем	М, Р, EXP, EXT, MR/W
	Riboflavin 5'-Phosphate Sodium	75% - 79%	фини кристални прах	MR/W

М: брашнаста; Р: пелетирана; EXP: експандирана; EXT: екструдирана; MR/W: замена за млеко/вода

Табела 40. Синтетички витамини који се користе у припреми хране за животиње, њихове концентрације и начин примене (DSM, 2016).

Витамин	Назив препарата	Садржај (мин.)	Технологија формулације	Примена*
Витамин В ₆	ROVIMIX® В ₆	99% (990 g/kg)	фини кристални прах	М, Р, EXP, EXT, MR/W
Витамин В ₁₂	Vitamin В ₁₂ 1% feed grade	1% (10.000 mg/kg)	фини прах	М, Р, EXP, EXT
	Vitamin В ₁₂ 96% - 100,5% crystalline		фини кристални прах	MR/W
Ниацин	ROVIMIX® Niacin	99,5%	фини кристални прах	М, Р, EXP, EXT
	ROVIMIX® Niacinamide	99,5%	фини кристални прах	М, Р, EXP, EXT, MR/W
d-Пантотенска киселина	ROVIMIX® Calpan	98% (980 g/kg)	прах осушен распршивањем, дисперзиван у води	М, Р, EXP, EXT, MR/W
Фолна киселина	ROVIMIX® Folic 80 SD	80% (800 g/kg)	прах осушен распршивањем, дисперзиван у води	М, Р, EXP, EXT, MR/W
	Folic acid	97% - 102%	кристални прах	MR/W
Биотин	ROVIMIX® Biotin	2%	прах осушен распршивањем, дисперзиван у води	М, Р, EXP, EXT, MR/W
	ROVIMIX® Biotin HP	(20 g/kg)		
Аскробинска киселина	ROVIMIX® STAY-C® 35	35% активности укупно фосфорилване аскорбинске киселине (350 g/kg)	прах осушен распршивањем	М, Р, EXP, EXT
	ROVIMIX® STAY-C® 50	50% укупно фосфорилваног натријум аскорбината (500 g/kg)	прах осушен распршивањем	М, Р, EXP, EXT, MR/W
	ROVIMIX® C-EC	97,5% (975 g/kg)	прах обложен етил-целулозом	М, Р, MR/W
	Ascorbic acid	99% - 100,5%	кристални прах	MR/W

М: брашнаста; Р: пелетирана; EXP: експандирана; EXT: екструдирана; MR/W: замена за млеко/вода

3.5.3. ВИТАМИНИМА СЛИЧНЕ МАТЕРИЈЕ

Мада нису сматране правим витаминима, одређене супстанце по својој активности веома подсећају на витамине, због чега се понекад сврставају у витамине В комплекса. Због тога се ове обично називају *материје сличне витаминима*. Хранидбени статус и биолошка улога сваке од ових супстанци, захтевају даље објашњење. Да би једна материја била сврстана у витамине треба да је значајна компонента хране чијим одсуством се јављају симптоми дефицита који касније могу бити отклоњени. Међутим, оба ова услова нису испуњена са материјама сличним витаминима. Неки аутори ове материје наводе и због тога што при одређеним условима њихова употреба може бити од користи.

БИОФЛАВОНОИДИ (ВИТАМИН Р)

Биофлавоноиди, познати и као витамин Р, група су природних пигмената у биљкама, воћу, цвећу и зрну житарица. Јављају се као пратиоци природног витамина С, а нису присутни у синтетичком С витамину. Због основне жуте боје већина ових материја се називају флавоноиди, што потиче од грчке речи флаvus, што значи жут. До данас је идентификовано око 800 различитих флавоноида, од којих више од 30 припада роду цитрус. Најпознатији биофлавоноиди су хесперидин, нарингин и рутин.

Функције. Биофлавоноиди се разматрају због њихове функције у превенирању крвоточишта капилара и доприносу у одржавању њихове нормалне пропустљивости.

Флавоноиди нису сврстани у витамине, када су у питању више животиње, због недостатка доказа да су битне компоненте хране, а да симптоми дефицита могу бити лечени њиховим уношењем у организам животиње. Али постоје поуздани докази да су они веома битни за нижа жива бића - лептире, ларве свилене бубе, цврчке и неке врсте инсеката (тврдокрилаца). Штавише, има индикација да сличан утицај такође, могу имати на више животиње и људе. По мишљењу неких аутора сличан ефекат витаминима, флавоноиди могу испољити само при стресним условима. Осим тога, флавоноиди испољавају бројне специфичне утицаје у очувању доброг здравља сисара. Поред позитивног утицаја на стање капилара и здравље, флавоноиди имају и следеће функције:

- активна су антиоксидантна једињења у храни, заузимајући друго место у том погледу одмах иза токоферола.
- поседују метал-хелатинизирајућу способност, утичу на активност ензима и мембрана.
- имају синергистичан утицај на аскорбинску киселину (витамин С), у смислу њене стабилизације у ткивима животиње.
- поседују антиканцерогену активност на два начина: имају цитостатски ефекат на малигне ћелије (зауштавају или инхибирају пораст ћелија) и биохемијску заштиту ћелија од оштећења, услед деловања канцерогених материја.

Симптоми дефицита и извори. Симптоми дефицита биофлавоноида у блиској су вези са знацима недостатка витамина С. Склоност ка крварењу (хеморагији) и појави модрица, нарочито су изражени. Животиње немају способност за синтезу биофлавоноида. Најбогатији извори су: пулпа од цитрусног воћа, плод дивље руже и лишће хељде.

КАРНИТИН (витамин В_T)

Карнитин је материја слична витамину, витални коензим у ткивима животиња и укључен је у метаболизам масти. Под нормалним условима више животиње синтетишу његове укупне потребе у организму, те није неопходно свакодневно обезбеђење ове супстанце у храни животиња.

Функције. Карнитин игра важну улогу у метаболизму масти и производњи енергије у сисара. Поред тога, карнитин има и следеће функције:

- игра важну улогу у оксидацији масних киселина, помагањем њиховог транспорта кроз мембране митохондрија.
- укључен је у транспортовање ацетил група у супротном смеру до цитоплазме, за синтезу масних киселина.
- карнитин стимулише оксидацију ацетоацетата, стога може играти улогу у искоришћавању кетонских тела у организму животиње.

Симптоми дефицита и извори. Ако се карнитин сматра есенцијалном хранљивом материјом, може се очекивати да његов недостатак у храни, резултира појавом болести дефицита у животиња. До данас карнитин, међутим, није задовољио овај критеријум.

Богати извори карнитина су месно брашно, млеко, сурутка и квасац (пивски и торула). Нижи ниво карнитина у биљним у односу на анимална хранива се може објаснити чињеницом да су биљке, највероватније, дефицитарне у есенцијалним аминокиселинама лизину и метионину, прекурсорима карнитина.

КОЕНЗИМ Q (убихинон)

Коензим Q или убихинон представља заједничко име за један број једињења сличних липидима, која су хемијски донекле слична и витамину E. Коензим Q је утврђен у већини живих ћелија, где се налази концентрисан у митохондријама. Пошто се овај синтетишу у ћелијама, не може се сматрати правим витамином.

Функције. Коензим Q функционише у респираторном ланцу, у коме се енергија ослобађа из АТР-а. Има доказа да специфични убихинони функционишу у слабљењу односно превенирању неких симптома дефицита витамина E.

Извори. Хинони су широко присутни у анаеробним организмима, од бактерија до виших биљака и животиња. Пошто се синтетишу у телу, не могу се сматрати правим витамином.

ЛАЕТРИЛ (витамин В₁₇, амигдалин, нитрилозиди)

Лаетрил је природна супстанца, добијена из коштице кајсије, за коју се мисли да има способност превенирања канцера. Ернест Кребс је први користио лаетрил у терапеутске сврхе и закључио да је у питању есенцијалан витамин и назвао га витамин В₁₇. Леатрил је произведен и коришћен, углавном, за превенирање и третирање канцера.

Функције. Нитрилозиди, укључујући коштице кајсије и горког бадема, обезбеђују мале количине и сталан ниво цијановодоничне киселине (HCN) у организму. Човек и други сисари поседују ензим *роданазу*, који врши конверзију цијанида у

тиоцианате. Данас има барем три теорије о томе како HCN ремети пораст тумора, али се све односе на активност нитрилозида, који обезбеђују HCN као активно средство.

Симптоми дефицита и извори. Дуготрајан дефицит лаетрила може довести до смањене отпорности на малигнанте. Концентрација од 2 до 3% лаетрила утврђена је у коштицама већине воћа, укључујући кајсију, јабуку, вишњу, брескву, шљиву и нектарину.

ЛИПОИЧНА КИСЕЛИНА

Липоична киселина је у мастима растворљива супстанца, која садржи S. Не представља чист витамин, пошто може бити синтетизована у организму и њено присуство у храни животиња није неопходно. Међутим, ова киселина функционише на исти начин као многи други витамини В комплекса.

Функције. Утврђено је да липоична киселина функционише као коензим. Битна је заједно са ензимом који садржи тимин, тиамин пирофосфатаза, за реакције метаболизма угљених хидрата, којима се трансформише пирогрођана киселина у ацетил CoA.

Симптоми дефицита и извори. Нису утврђени специфични симптоми недостатка. Присуство липоичне киселине утврђено је у великом броју хранива. Јетра и квасац представљају богате изворе ове киселине.

ОРТИЧНА КИСЕЛИНА (витамин B₁₃)

Ортична киселина или витамин B₁₃ може представљати промотор пораста и материју која превенира одређене поремећаје. Данас је непознато да ли ова супстанца игра есенцијалну улогу у, иначе, адекватном obroку.

Функције. Ортична киселина при одређеним условима стимулише пораст пацова, пилића и свиња. Ова киселина се користи у организму у току метаболизма фолне киселине и витамина B₁₂. Такође, помаже замену или обнову дотрајалих ћелија.

Симптоми дефицита и извори. Постојање симптома дефицита у овој киселини још није доказано. Верује се, међутим, да дефицит може довести до поремећаја у функцији јетре, дегенерације ћелија и превременог старења. Присуство ортичне киселине утврђено је у споредним производима индустрије алкохола, сурутки, закисељеном млеку и коренастим хранивима. Ова хранљива материја, такође, је доступна у допунској форми, у облику калцијум оротата.

ПАНГАМИЧНА КИСЕЛИНА (витамин B₁₅)

Пангамична киселина је позната и под именом витамин B₁₅, калцијум пангамат и диметилглицин. Кребс и сарадници су утврдили присуство у води растворљивог фактора у коштици кајсије, који су затим изоловали у кристалној форми из мекиња пиринча и остатака полирања. Касније је ова материја екстрахована из пивског квасца, крви говеда и јетре коња. Назив *пангамична киселина* (*пан*, универзалан; *гамиц*, семе) примењен је за супстанцу која означава универзално присуство у семену.

Захтев да се пангамична киселина уврсти у витамине В комплекса, заснива се, пре свега, на њеном присуству у хранивима богатим у витаминима В комплекса и широком спектру физиолошких функција, које се приписују овој материји. Међутим, није познато да ли животиња има способност синтезе ове киселине и да нема специфичног обољења које се може приписати једино дефициту ове супстанце. Због тога, означавање пангамичне киселине као витамина, још није прихваћено од стране истраживача у свету.

Функције. Бројне функције се приписују пангамичној киселини:

- пангамична киселина има метил групе, које се могу трансформисати из једног једињења у друго у организму, резултирајући у стимулацији синтезе креатина у мишићима и срчаном мишићу.
- стимулише усвајање кисеоника у телесним ткивима, чиме помаже превенирање стања познатог под именом хипоксија - недовољно снабдевање телесних ткива кисеоником, а нарочито срца и других мишића.
- орално уношење или давање ињекција пангамичне киселине пацовима и кунџима, има заштитни ефекат против масне инфилтрације јетре, изазване гладовањем оброцима без протеина, анестетичима, CCl_4 или са холестеролом.
- након периода повећаног напора, животиње третиране пангамичном киселином показују боље одржавање оксидативног метаболизма и нивоа енергије од животиња које нису третиране. Осим тога, ови утицаји трају у току следећих неколико дана. Ове чињенице су довеле до тога да се тркачким коњима даје пангамична киселина, која има за последицу већу брзину и мањи умор животиња.
- у неким случајевима, давање ове киселине може изазвати опадање биосинтезе холестерола и његовог нивоа у крви.

Симптоми дефицита и извори. Има наговештаја да дефицит у пангамичној киселини може довести до замора, хипоксије, обољења срца, жлезданих и нервних поремећаја. Најбољи природни извори пангамичне киселине су семе сунцокрета, семе бундеве, квасац, јетра, пиринач, цело зрно житарица, коштица од кајсије. Према одређеним доказима ова киселина се јавља у свим хранивима у којима су присутни витамини В комплекса.

3.6. МИНЕРАЛНЕ МАТЕРИЈЕ

У исхрани животиња термин “минерал” означава одређене хемијске елементе, који су утврђени у пепелу после спаљивања хране или телесних ткива. Телесна ткива животиња и различита хранива, садрже око 45 различитих минералних елемената, са значајним међусобним разликама у количини и концентрацији. Минерални елементи присутни у већим количинама (преко 70 mg/kg телесне масе) у организму животиња, називају се *макроелементи* или *макроминерали*. Овде припадају: калцијум (Ca), фосфор (P), магнезијум (Mg), натријум (Na), калијум (K), хлор (Cl) и сумпор (S). Осталих 40-так елемената, организам животиња садржи у веома малим количинама (мање од 70 mg/kg телесне масе) и зато се називају *микроелементи* или *елементи у траговима*.

За следећих 15 микроелемената поуздано је доказана одређена физиолошка улога у организму животиња: гвожђе (Fe), бакар (Cu), кобалт (Co), манган (Mn), цинк (Zn), јод (I), селен (Se), молибден (Mo), хром (Cr), флуор (F), калај (Sn), ванадијум (V), силицијум (Si), никал (Ni) и арсен (As). Ови елементи су есенцијални у траговима.

Доказ да је одређени минерални елемент есенцијалан, заснива се на експерименталним подацима добијеним у огледима на животињама. Такозвани *пречишћени оброци* обезбеђују све потребне хранљиве материје животиња, а одсуство само посматраног елемента изазива смањење пораста у младих животиња и појаву симптома дефицита у младих и одраслих животиња. Симптоми који указују на биохемијске промене у животињским ткивима, могу се ублажити или превенирати додавањем елемента који недостаје експерименталним оброцима. Поред 22 есенцијална макро и микроелемента, биљна и животињска ткива садрже још 23 минерална елемента у малој концентрацији. Овим елементима не припада никаква витална улога, па се претпоставља да су присутни у организму само зато што их има у храни животиња. Даљи развој лабораторијске технике свакако може омогућити доказивање улоге неког од ових елемената.

За познавање минералних елемената важно је обратити пажњу на следеће чињенице:

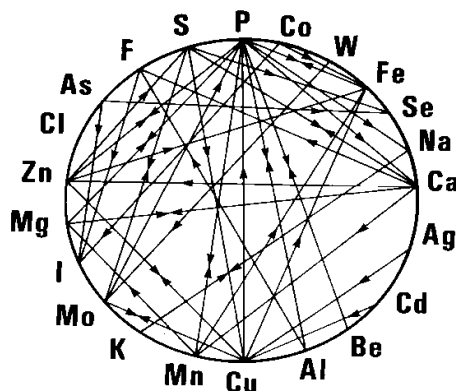
1. *Однос минералних материја у земљишту, биљци и животињи.* Постоји директна и веома значајна међузависност између садржаја и доступности минералних елемената у земљишту и биљкама (кабаста хранива и зрна житарица). Понекад концентрација једног есенцијалног минералног елемента у земљишту је тако мала да биљке које расту на њему неће садржати довољне количине овог минерала да обезбеде хранидбене потребе животиња. У другом случају, биљке могу садржати тако високе концентрације једног или више минералних елемената да они испољавају токсичан ефекат на животиње које их конзумирају. Односи земљиште-биљка-животиња су нарочито важни у случају микроелемената.

2. *Међусобни однос минералних елемената.* Међусобни однос минералних елемената у великој мери компликује циљ одређивања минималних хранидбених потреба и толеранције за многе елементе. Степен интеракције варира у великој мери. Поред интеракције једних са другим минералним елементима, постоји интеракција између минералних елемената и органских компонената хране и са факторима који нису хранљиве материје.

Значај међусобних односа минералних елемената (слика 30) огледа се у следећим примерима:

- изразити вишак калцијума и/или фосфора у храни животиња, ремети њихову апсорпцију и повећава екскрецију минерала који се налази у мањој количини
 - вишак магнезијума ремети метаболизам калцијума,
 - вишак цинка ремети метаболизам бакра
- утврђено је да је бакар неопходан за адекватно искоришћавање гвожђа, али вишак бакра може у значајној мери смањити апсорпцију гвожђа.

MINERALI



Слика 30. Шематски приказ интеракције различитих минералних материја.

ОПШТЕ ФУНКЦИЈЕ МИНЕРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА

Готово сви есенцијални минерални елементи (макро и микроелементи) имају једну или више каталитичких функција у ћелији животиње. Неки минерални елементи су чврсто везани за протеине ензима, док су други присутни у простетичким групама у форми хелата. *Хелат је циклично једињење, које настаје из органског молекула и јона метала.* Јон метала се практично налази унутар органског молекула. Пример хелата који се јављају у природи су хлорофили, цитохроми, хемоглобин и витамин B₁₂.

Елементи као што су Na, K и Cl имају, пре свега, *електрохемијску функцију* и баве се одржавањем ацидо-базне и осмотске равнотеже дистрибуције воде унутар организма. Неки од елемената имају *структурну улогу*. Тако, нпр. Ca и P су есенцијалне компоненте скелета, а S је неопходан за синтезу структурних протеина. Није ретко да један елемент има више различитих функција. Нпр. Mg функционише *каталитички, електрохемијски* и има *структурну улогу*. Један број минералних елемената има јединствену улогу. Fe је важно као састојак хема, који је есенцијалан за дисање животиња. Co је компонента витамина B₁₂, док јод формира део хормона тироксина.

Неки елементи, нпр. калцијум и молибден, могу реметити апсорпцију и активност других елемената. Интеракција минерала са другим минералима представља важан фактор у исхрани животиња, а дебаланс је важан у етиологији одређених нутритивних поремећаја у животиња.

Опште функције минералних елемената су следеће:

- као конституенти дају чврстину и јачину скелетној структури.
- у одржавању колоидног стања телесне материје, регулисању неких од физичких својстава колоидних система (вискозитет, дифузија, осмотски притисак).

- у регулисању ацидо-базне равнотеже.
- служе као саставни део органских једињења, као што су протеини и липиди, који чине мишиће, различите органе, ћелије крви и друга мека телесна ткива.
- активирају различите ензимске системе.
- контролишу биланс течности - осмотски притисак и екскрецију.
- учествују у минерално-витаминским односима.

Када је у питању доступност минералних елемената, као и њихове метаболичке функције, оне су често везане за форму у којој се налазе. Нпр. у присуству оксалата и цитрата, Са не може бити апсорбован. Када се налази у комбинацији са фитином, Р је доступан преживарима, али недоступан непреживарима.

Садржај минералних материја у организму животиња. Садржај макроелемената у организму одраслих животиња приказана је у табели 41. Удео сваког од минерала, изражен на 100 g обезмашћене суве материје тела, веома је сличан у различитих врста одраслих животиња. Сваки орган, у складу са његовом функцијом, има карактеристичан минерални састав, који је веома сличан у свих врста сисара. Међутим, после периода дефицитарне исхране или одсуства воде, долази до наглог пораста садржаја минерала. Садржај натријума, калијума и хлора је константан у току свих стадијума развоја, од ембрионалне фазе до пуног развоја животиње. Насупрот овима, садржај магнезијума, калцијума и фосфора у ембриону износи само 50% од садржаја у телу одрасле животиње.

Табела 41. Приближан садржај најзначајнијих макроелемената и микроелемената у организму животиња (Moniello и сар., 2005).

Макроелементи (g/kg)		Микроелементи (mg/kg)	
Калцијум	15	Гвожђе	20-80
Фосфор	10	Синк	10-50
Калијум	2	Бакар	1-5
Натријум	1,6	Молибден	1-4
Хлор	1,1	Селен	1-2
Сумпор	1,5	Јод	0,3-0,6
Магнезијум	0,4	Манган	0,2-0,5
		Кобалт	0,02-0,1

Количине макроелемената, а нарочито калцијума, магнезијума, калијума и хлора, у крвном серуму, одржавају се у доста уским оквирима. Ово се обезбеђује деловањем механизма хормоналне контроле, независно од количина присутних у храни. Механизам којим се одржава овако стабилна концентрација телесних састојака у унутрашњој средини, назива се *хомеостаза*. Ова појава, такође, је присутна у случају неких органских једињења, као што је глукоза. Насупрот њима, концентрација есенцијалних микроелемената у крви, испољава тенденцију значајних варирања. Разлог томе је што не постоје контролни механизми, који могу савладати велике разлике у конзумирању микроелемената, у односу на њихову концентрацију у крви.

Извори минералних материја у храни. Највећи део својих потреба у минералним материјама, животиње обезбеђују из кабастих и концентрованих хранива. Минерални додаци животињског (коштано брашно) или геолошког порекла (калцијум фосфати, натријум хлорид, гвожђе сулфат, бакар сулфат) представљају

додатне изворе. Вода за пиће обезбеђује животиње мањим количинама минерала. Концентрација минерала у кабастим хранивима зависи од следећих фактора: врсте биљке, састава земљишта на коме расту, фазе вегетације при убирању, климатских услова, употребе минералне прихране или наводњавања. Спољашњи услови пораста биљака, имају знатно већи утицај на минерални састав вегетативних делова биљака, него на зрно. Разлике у садржају микроелемената у једном храниву, знатно су веће него у садржају макроелемената. Разлог овоме су велика колебања у садржају микроелемената у земљишту различитих географским подручја и утицај бројних фактора у земљишту на усвајање минерала од стране биљака.

Начин и место апсорпције минерала. Највећи део минерала апсорбује се у форми јона. Најважнија места за апсорпцију минерала су танка и почетак дебелог црева. У преживара апсорпција минерала одвија се и кроз зид румена. Велике количине минерала доспевају у дигестивни тракт са соковима за варење. Они се апсорбују заједно са минералима који доспевају са храном.

Начин екскреције минерала (фецесом или урином), варира у зависности од врсте животиње и састава оброка: преживари испољавају тенденцију излучивања калцијума и фосфора фецесом, док их непреживари излучују претежно урином.

Доступност различитих минералних елемената. Вредност различитих минерала присутних у хранивима и минералним додацима, не зависи само од њиховог укупног садржаја у њима, већ и могућности апсорпције и искоришћавања. Одређивање привидне сварљивости минерала није од већег значаја пошто излучени фецес укључује неапсорбоване и ендogene минерале. Минерали излучени у плувачку и сокове за варење, доспевају у лумен црева, где подлежу истом процесу, као и минерали пореклом из хране, тј. они се реапсорбују у крв животиња. Међутим, део минерала излучених из организма се не апсорбује већ излучује фецесом. Ова фракција минерала назива се *ендогена* или *метаболичка фракција*. Ендогени део макроминерала, присутан у фецесу преживара, нарочито Са и Р, може бити значајан, па чак и прелазити количину у несвареном делу. У непреживара, међутим, ендогена фракција минерала чини мали део од укупне количине минерала у фецесу.

Есенцијални минерални елементи. За један минерални елемент може се рећи да је есенцијалан у организму животиње ако испуњава следеће критеријуме:

- мора бити присутан у константним концентрацијама у здравим ткивима свих животиња, са веома малим варијацијама од једне до друге животиње;
- дефицит у иначе нутритивно адекватним оброцима различитих врста животиња, мора довести до појаве репродуктивних, структурних и/или физиолошких поремећаја. Оброци морају садржати све остале неопходне хранљиве материје у адекватним количинама и одговарајућем односу;
- додавање елемента оваквим селективно дефицитарним оброцима, мора превенирати или довести до супротног развоја поремећаја;
- поремећаји индицирани дефицитом, морају бити пропраћени специфичним биохемијским променама, које су превениране када је отклоњен дефицит.

Сваки од елемената, приказаних у табели 42, испуњава ове захтеве, па се због тога сматрају есенцијалним.

Табела 42. Есенцијални минерални елементи.

Макроелементи		Микроелементи или елементи у траговима	
Главни катјони	Главни ањони		
Калцијум	Фосфор	Манган	Кобалт
Магнезијум	Хлор	Гвожђе	Молибден
Натријум	Сумпор	Бакар	Селен
Калијум		Јод	Хром
		Цинк	Калај
		Флуор	Никл
		Ванадијум	Силицијум

Сматра се да је број есенцијалних минералних елемената исти за све врсте животиња, са једним изузетком: присуство кобалта у храни животиња неопходно је само у оброцима преживара. Ова чињеница намеће питање: да ли ове животиње стварно захтевају присуство кобалта у храни или она служи за обезбеђење микрофлоре у дигестивном тракту, за синтезу витамина В₁₂.

Могући есенцијални елементи. Још 70-тих година прошлог века је предложено да се једна ограничена група микроелемената уврсти у категорију "*могући есенцијални елементи*". Постоје докази по којима су елементи који спадају у ову групу неопходни, мада нису довољни да покажу да ови елементи обезбеђују све предуслове за есенцијалност. Ова категоризација је привремена. Са добијањем више информација ови елементи ће коначно бити разврстани у есенцијалне и неесенцијалне. У групу могуће есенцијалних минерала спадају следећи елементи: арсен, баријум, кадмијум, стронцијум.

Потенцијално токсични минерални елементи. Практично сваки од минералних елемената може бити токсичан у организму, ако га животиња конзумира у сувише великим количинама или у довољно дугом периоду. Ово је нарочито случај са багром, селеном, молибденом, флуором, ванадијумом и арсеном. Бакар је потенцијални кумулативни отров, што је нарочито изражено код оваца. Животињски организам није нарочито способан за његово ефикасно излучивање. Код преживара, мале количине овог елемента дате у сувишку током дужег временског периода, у односу на дневне потребе, довешће до појаве симптома тровања. Ово се такође, односи и на флуор. Због тога, додавање минералних елемената оброцима животиња, обавезно мора пратити велика предострожност. Међутим, следећи микроелементи су токсични у релативно малим количинама, а природно се појављују у храни, води или ваздуху:

(а)	(б)	(ц)
Бакар	Арсен	Олово
Молибден	Кадмијум	Жива
Селен		
Флуор		
Силицијум		

Значајно је напоменути да су "токсични" минерали у групи (а) већ сврстани у категорију "есенцијалних", док су минерали из групе (б) означени као "могуће

есенцијални". Због тога, исти елемент може бити есенцијалан или токсичан у организму у зависности од количине која је унета.

Неесенцијални минерални елементи. Постоји одређени број минералних елемената, присутних у мерљивим количинама у организму животиња, којима још није утврђена метаболичка улога. За ове елементе се сматра да су присутни у организму због случајног присуства у ткивима биљака. Међу овима свакако су најзаступљенији и најважнији следећи минерални елементи: алуминијум, германијум, рубидијум, антимон, злато, сребро, бизмут, олово, титанијум, бор, жива. Међу њима, олово и жива су високо токсични и понекад случајно доспевају у организам животиња.

Извори минерала. Данас оброци животиња обично садрже додате минералне материје и витамине, мада је повремено неопходно додавати посебан минерални додатак, као што је то случај са калцијумом у исхрани кокоши носиља. Уобичајени извори минералних елемената, који се користе у минералним додацима, су сточна креда за калцијум, дикалцијум фосфат за фосфор, обична со за натријум и калцинирани магнезит за магнезијум. Микроелементи се обично обезбеђују у форми соли, нпр. гвожђе сулфат за гвожђе, бакар оксид за бакар, селен као натријум селенит и др. При избору извора минерала неопходно је имати у виду доступност одређеног елемента. Са има велику доступност из већине извора, а Р у орто- и мета-фосфатима има доступност од 80-100%. Mg из калцинираног магнезита има доступност од 50-60%, док је доступност из магнезијум сулфата до 70%. S из сулфата је доступан 50-90%.

Хелатинизирани минерални елементи. Додавање хелатинизираних и других органских облика минералних елемената оброцима животиња, представља задњих деценија подручје интензивних истраживања. Једно од најчешће коришћених хелатинизирајућих средстава је синтетичко једињење етилен диамин тетрасирћетна киселина (EDTA), које има својство формирања стабилних хелата са металима. Додавање хелата оброцима животиња побољшава доступност самог минералног елемента. Органски везани минерали се најчешће срећу као: 1) хелати растворљиве соли минерала са аминокиселинама и/или делимично хидролизованим протеином (овакви хелати су познати као протеинати - бакар протеинат, цинк протеинат и други.); 2) комплекси растворљиве соли минерала са раствором полисахарида који су познати као полисахаридни комплекси (нпр. полисахаридни комплекс бакра); 3) хелати метала и аминокиселина који су међусобно везани ковалентном везом; 4) комплекси растворљиве соли метала са аминокиселинама; 5) комплекси растворљиве соли метала са специфичним аминокиселинама (нпр. комплекс бакар лизин, цинк метионин итд.).

Предности органски везаних облика минералних елемената у односу на неорганске укључују следеће: 1) структура прстена штити минерале од нежељених хемијских реакција у гастроинтестиналном тракту; 2) хелати непромењени пролазе кроз цревни зид у крвоток; 3) пасивна апсорпција је повећана смањењем интеракција између минерала и других хранљивих материја; 4) минерал је доступан у форми која је слична оној која се већ налази у организму; 5) путеви апсорпције хелата се разликују од путева апсорпције неорганских минерала; 6) сваки минерал у хелату олакшава апсорпцију осталих минерала у хелату; 7) хелати су носиоци негативног набоја тако да се ефикасније апсорбују и метаболишу; 8) хелатинизирање повећава растворљивост и кретање кроз ћелијске мембране; 9)

хелатинизирање повећава пасивну апсорпцију повећавањем растворљивости минерала у води и мастима; 10) хелатинизирање повећава стабилност на ниским рН; 11) хелати се могу апсорбовати системом за транспорт аминокиселина.

Досадашња истраживања указују да су органски везани минерали у биљкама, у најмању руку, доступни животињама у истој мери као и неоргански. Међутим, многа истраживања доказују већу биолошку доступност органски везаних минерала. Међутим, због високе цене није вероватно да ће ова синтетичка једињења у догледно време у потпуности заменити неорганске изворе минерала, изузев за посебне намене.

3.6.1. МАКРОЕЛЕМЕНТИ

Минерални елементи присутни у већим количинама (преко 70 mg/kg телесне масе) у организму животиња, називају се *макроелементи* или *макроелементи*. Макроелементи су потребни животињама у количинама које се крећу од само неколико десетих делова грама, до једног или више грама на дан.

КАЛЦИЈУМ (Ca) и ФОСФОР (P)

Улога калцијума у исхрани животиња уско је повезана са улогом фосфора. Због тога се ова два минерална елемента често пута разматрају заједно. Услед чињенице да већина животиња користе калцијум и фосфор заједно са витамином D, сматра се оправданим разматрање функције витамина D у метаболизму ових минерала.

Калцијум и фосфор заједно чине преко 70% од укупног пепела у организму животиње. Калцијум је минерални елемент који се налази у највећој количини у организму животиња. Представља важну компоненту скелета и зуба, као и живих ћелија и телесних течности. Калцијум је есенцијалан за активност једног броја ензимских система, укључујући оне неопходне за трансмисију нервних импулса и контрактивна својства мишића. Учествује и у коагулацији крви. У крви се јавља у плазми. Крвна плазма сисара обично садржи 80-120 mg Ca/l, док је у крвој плазми кокоши носила између 300-400 mg/l.

Утврђено је да фосфор има више функција у организму животиње од било којег другог минералног елемента. Поред његове присутности са калцијумом у костима животиње, фосфор се јавља у фосфопротеинима, фосфолипидима и нуклеинским киселинама. Има виталну улогу у метаболизму енергије, у формирању комплекса шећер-фосфати и аденозин ди- и трифосфати. Важност витамина D у метаболизму калцијума и фосфора, већ је разматрана у претходном поглављу. Приближно 99% Ca и 80% P у организму животиња налази се у костима и зубима. Преостали део ових минерала налази се у неким ткивима и телесним течностима.

Састав костију. Кости су веома сложене по своме саставу. Сува материја костију састављена је од приближно 460 g минералних материја/kg, 360 g протеина/kg и 180 g масти/kg. Састав костију варира у зависности од старости и хранитељног статуса животиње. Калцијум и фосфор су комбиновани у форми сличној оној која је утврђена у природном минералу хидроксиапатиту. Пепео костију садржи приближно 360 g Ca/kg, 170 g P/kg и 10 g Mg/kg.

Просечан састав костију одрасле животиње, уз мала одступања, која зависе од врсте животиња, старости и стања исхране је следећи: вода 45%, пепео 25%, протеини 20% и масти 10%. Калцијум и фосфор су присутни у пепелу костију у односу 2:1. Кости имају кристализовану фазу, састављену претежно од хидроксиапатита и аморфне фазе, која садржи $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, CaCO_3 , $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ и мале

количине цитрата, Na, K, Cl и F. Органска компонента костију, у којој су депоноване соли, састоји се од смеше протеина, претежно колагена. Без обзира на тачна хемијска једињења, елементарни састав костију је прилично константан. Нарочито однос калцијума према фосфору не показује значајнија одступања од 2:1.

У морфолошком погледу постоје две врсте костију скелета. Тако, кичмени пршљенови, кости лобање, доње вилице и ребра спадају у меке кости, и богате су шупљинама (спонгиозне), из којих се лако могу мобилисати соли. Насупрот њима, дуге кости, мада у њиховим шупљинама садрже релативно спонгиозна подручја (трабекуле), састоје се, углавном, од спољашне кости, много гушће формације која је отпорнија на мобилизацију од подручја богатих у спонгиозној творевини. Трабекуле су, вероватно привремени минерални депои, из којих се елементи мобилишу за одржавање њиховог нивоа у крви у периодима између узимања хране. Супстанце меких костију формирају резерве, које се мобилишу веома интензивно у физиолошким стањима као што је то лактација. Шупљине у дугим костима су, вероватно, последње по реду за мобилизацију, за обезбеђење “оперативних” потреба, насупрот сталној рестрикцији конзумирања хране.

Минерални састав зуба сличан је саставу костију. Зубна глеђ (емајл), која представља најтврђу супстанцу у организму животиње, садржи свега 5% воде и 3,5% органске материје. Мале количине флуора налазе се у апатиту ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$) и представљају саставни део структуре зуба и костију.

Метаболизам калцијума и фосфора у костима. Кости не представљају статичан депо минерала, који имају једино структурну функцију, већ представљају динамичан комплекс. Кости служе као складиште калцијума и фосфора одакле се могу мобилисати, када снабдевање овим минералима није довољно да обезбеди потребе животиња. Тако, метаболизам минерала у костима не укључује само повећање калцијума и фосфора у току пораста, већ, такође, њихову сталну размену између костију и крви. Обим размене је најбржи у спонгиозном делу костију и разликује се од размене у компактним костима (кортекс). Размена калцијума и фосфора између костију и меких ткива протиче континуирано, тако да се око 20% ових елемената размењује између ова два типа ткива у току године.

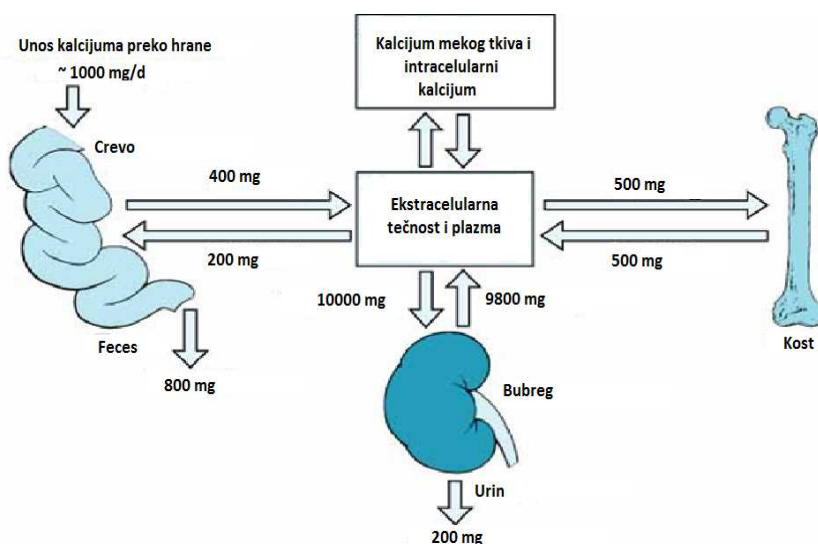
Ако конзумирана количина калцијума не подмирује потребе организма, организам може црпити властите резерве, које су депоноване у меким костима и трабекулама дугих костију. Организам користи калцијум из костију у току периода стресних стања (нпр. у току процеса формирања млека или развоја костију фетуса) преко ресорпције читаве кости, пре него преко једноставне декалцификације. У току овог процеса ишчежавају неорганске и органске компоненте. Тачан механизам мобилизације калцијума из костију није у потпуности објашњен, али се поуздано зна да је контролисан од стране хормона паратиреоидне жлезде (паратхормон), а да на њега утиче витамин D. Фосфор који се ослобађа истовремено са калцијумом, не користи се за обезбеђење хранидбених потреба у фосфору, пошто се брзо излучује са урином.

Могућност регулисања метаболизма калцијума и фосфора и хомеостаза. Општи метаболизам Ca, P и Mg шематски је приказан на слици 27. Макроелементи апсорбовани из хране (Ca, P, Mg, K, Na) доспевају у крв којом улазе у различита ткива и органе. Концентрација калцијума и фосфата у крви животиња се одражава на константним нивоима, помоћу регулаторне активности три хормона: паратиреоидног хормона (PTH), калцитонина и активног метаболита витамина D₃, 1,25-дихидроксихоликалциферола ($1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$). Ови хормони контролишу

апсорпцију Са и Р из гастроинтестиналног тракта, утичу на њихово депоновање и ресорпцију у костима, те утичу на обим њихове екскреције у фецес и урин.

Када је ниво Са у серуму низак због недовољног обезбеђења храном или повећаних потреба крива високе млечности или кокоши носила, долази до секреције паратиреоидног хормона. Помоћу система негативног *feedback*-а, ниске концентрације Са у крвној плазми, стимулишу активност паратиреоидне жлезде и секрецију РТН. Овај хормон делује у правцу повећања концентрације Са у крви на следећи начин: повећава мобилизацију Са из костију, повећава тубуларну реапсорпцију Са и производњу хормоналне форме витамина D, $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$. РТН игра значајну улогу у трансформацији витамина D у његов активан метаболит $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$, који повремено стимулише апсорпцију Са и Р из црева и који има повољан утицај на два супротна процеса: ресорпцију из костију и формирање костију. Различите активности РТН имају важну улогу у регулисању концентрације Са у серуму. У исхрани засушених крива, намерно се користе ниске концентрације Са да би се подстакло лучење РТН и мобилизација калцијума из костију. На тај начин криве се припремају за дефицит калцијума на почетку лактације и смањује се ризик од хипокалцемије и млечне грознице.

Хормон калцитонин делује као физиолошки антагонист РТН и хормоналне форме витамина D. Када је ниво Са у крви висок, долази до лучења калцитонина и спречавања мобилизације Са из костију. Овај хормон стимулише формирање костију. Активност калцитонина, супротно од РТН, слична је деловању инсулин-глукагон систему у контроли нивоа шећера у крви. Концентрација калцитонина директно је пропорционална концентрацији Са у крвној плазми, док је концентрација РТН обрнуто пропорционална.



Слика 27. Шематски приказ метаболизма калцијума.

Концентрација фосфата у крвној плазми у великој мери регулисана је нивоом калцијума. Недостатак фосфата повећава синтезу $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$, који стимулише апсорпцију фосфата из садржаја црева. Бубрези, такође, представљају важан фактор у контроли концентрације фосфата, где је повећана реапсорпција фосфата деловањем РТН и активних метаболита витамина D. Поред тога, промене у концентрацији фосфата у крвној плазми, могу имати одређену улогу у регулисању нивоа Са у плазми. Супротно од овога, недостатак Са или фосфата у храни, доводи

до повећане производње РТН и $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$, а затим повећаног обима апсорпције Са и Р.

Апсорпција Са и Р из дигестивног тракта. Адекватна исхрана животиња са Са и Р, не зависи само од њихове количине у храни, већ и међусобног односа у храни и присуства других једињења или јона у оброку. Тако, нпр. витамин D је најважнији од једињења која имају утицаја на доступност Са и Р.

Најважније место апсорпције Са и Р из хране је дуоденум, док се значајне количине ових минерала (ендогеног порекла) излучују у задњем делу танког црева. Ендогени губици Са и Р у фецесу, према испитивањима изведеним са изотопом ^{45}Ca , не зависе од количина конзумираних или апсорбованих минерала, а директно су пропорционални телесној маси. Ендогени губици Са у говеда износе 16 mg/kg живе масе, а фосфора 10 mg/kg за одлучена телада, а 4 mg/kg за телада у млечном периоду исхране. Губици урином знатно су мањи: 0,8 mg Са и 2 mg Р/kg телесне масе.

Апсорпција, односно права сварљивост Са у преживара, креће се од 22-55%, са просеком од 45%, док за Р износи 55%. Способност апсорпције Са и Р у говеда опада са старашћу животиња. Апсорпција Са и Р из млека је знатно виша (око 90%) него из кабастих хранива и смеша концентрата. Узимање великих количина соли Fe, Al и Mg спречава апсорпцију Р, услед формирања нерастворљивих фосфата. Иначе, високи нивои масти повећавају губитке калцијума у фецесу, преко формирања сапуна. Ефикасност апсорпције ова два елемента је тешко одредити, пошто се делимично поново излучују у дебело црево, као ендогени калцијум и фосфор. Због тога су вредности о привидној сварљивости ових елемената без значаја. Нутриционисти су зато заинтересовани за *нето апсорпцију* ових елемената (тј. количину ових која се не излучује преко фецеса или урина). Нето апсорпција се утврђује у билансним огледима.

Количина калцијума или фосфора која се појављује у фецесу, у односу на количину у урину, зависи, углавном, од количина сваког од ових елемената у храни. Нпр. ако је у питању конзумирање великих количина калцијума храном, проценат укупне екскреције преко бубрега биће низак и супротно. Апсорпција калцијума се одвија, углавном, преко проксималног дела танких црева, док се фосфор апсорбује претежно у задњем делу овог органа.

Извор или форма конзумације. Начелно се може рећи да се неоргански извори калцијума и фосфора боље користе него када су ови елементи органски везани у самим хранивима. У одређеним хранивима, као што су зрна житарица и протеини биљних извора, сматра се да чак 50-70% присутног фосфора је везано са фитинском киселином у форми *фитина*. Оваква органска форма фосфора, пре него што дође до његовог коришћења, мора бити хидролизована у инозитол и фосфорну киселину. Ова хидролиза се одвија у румену, те су преживари способни да користе ову форму фосфора прилично лако. Међутим, код свиња и живине, само око 30% фосфора у форми фитина се сматра биолошки активним. Фитин се може цепати помоћу ензима *фитазе*, који је идентификован у зрну неколико врста житарица. Поред фосфора, са фитинском киселином, соли граде и јони Са, Mg и Zn. Стога присуство овог ензима може објаснити зашто су Са, Mg и Р доступнији у ферментисаним него неферментисаним хранивима. Присуство фитазе, такође је утврђено у мукози црева једног броја животињских врста, укључујући и човека. Међутим, има одређених неслагања истраживача око физиолошке улоге цревне фитазе у стварању биолошке доступности Са и Р.

Хранива која садрже *оксалну киселину* могу реметити апсорпцију Са хране, формирањем нерастворљивог Са *оксалата*. Таква хранива су спанаћ, блитва, глава и лишће шећерне репе.

Са унет оброком богатим у мастима, може формирати нерастворљиве калцијумове сапуне. Међутим, због тога што се Са апсорбује у проксималном делу танких црева, већи део Са се обично апсорбује пре него што се неутралне масти хидролизују у њихове компоненте, масне киселине.

Други неоргански елементи, као што су гвожђе, алуминијум, магнезијум, берилијум и стронцијум, могу реметити апсорпцију фосфора, формирањем нерастворљивих фосфата.

Постоје и други мање специфични фактори, који утичу на апсорпцију Са. Нпр. потребе у Са се повећавају у току гравидитета и лактације или у току продуженог периода конзумирања малих количина Са, а обим апсорпције овог елемента се повећава. Конзумирање великих количина протеина, такође, повећава апсорпцију Са, те ће оброци богати у протеинима повећавати количину Са излученог урином.

Хемизам и дистрибуција Са и Р. Са је присутан у хранивима у неорганској и форми хелата, заједно са одређеним протеинима. Неоргански Са се јавља претежно у форми фосфата и карбоната. У костима се јавља као хидрокси апатит, који је хемијски веома сличан трикалцијум фосфату [$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$]. У љусци јајета, шкољкама и раковима, калцијум се налази у форми калцијум карбоната.

Лисна маса биљака богата је у Са, а сиромашна у Р. Зрна биљака садрже веома ниске нивое Са и средње нивое Р. Ово јасно говори да је мало вероватноће за појаву дефицита у Са у животиња на паши, које конзумирају велике количине лисне масе и стабла биљака. У биљном материјалу, Р је концентрисан у семену. Лишће и стабло биљака садрже мале количине Р. Велики део Р, присутног у семену биљака, налази се у форми *фитина*.

У хранивима животињског порекла, Р је обично доступан, а нарочито ако су кости пре употребе у исхрани биле куване, запариване и самлевене. У многим деловима света налазе се велике природне наслаге сирових фосфата. Ови фосфати обично нису доступни животињама, а често садрже и велике количине флуора, који може бити токсичан ако се узима у већим количинама. Неке врсте сирових фосфата доступније су животињама, пошто садрже ниже нивое флуора. У већини случајева, међутим, сирови фосфати се морају термички и хемијски третирати, како би се добили фосфати веће доступности и ослобођени већине присутног флуора. Овако добијени производи називају се дефлуоринисани фосфати, који имају велику примену у исхрани животиња.

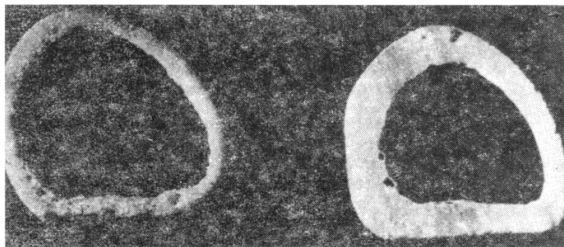
Када је неопходно додавање Са оброку животиња, обично се користе одређене форме калцијум карбоната (CaCO_3). Кречњак, који представља готово чист калцијум карбонат, користи се у млевеној форми. Већина комерцијалних извора Р који се додају оброцима животиња, садрже калцијум. Овде спадају монокалцијум фосфат (МКФ), дикалцијум фосфат (ДФ), трикалцијум фосфат (ТКФ), дефлуорисани сирови фосфати и фосфати са колоидном глином. Доступност Са из ових извора, показује значајна варирања, а у највећем броју случајева у уској је корелацији са доступношћу Р.

Однос калцијума и фосфора. При додавању Са и Р оброцима животиња, веома је важан њихов однос у оброку. Неповољан однос ова два елемента у оброку може бити исто тако штетан као и њихов недостатак. Однос калцијума и фосфора сматра се најпогоднијим за већину врста животиња када се креће 1,5:1, мада има доказа да

преживари могу толерисати и знатно шире односе ова два елемента. Свиње и живина у порасту мање су толерантни на високе односе Са и Р. Учешће калцијума у оброцима кокоши носиља треба да је знатно веће од претходног, пошто су потребе у калцијуму за формирање љуске јајета велике.

Ако оброк садржи вишак Са у односу на Р, тј. више Са него што може бити апсорбовано у првом делу танких црева, слободан Са биће присутан на месту где се апсорбује Р. Овај вишак Са ће формирати нерастворљи трикалцијум фосфата, и тако реметити апсорпцију Р. Вишак Р у храни у односу на Са, на исти начин ће смањити апсорпцију Са и Р. Због тога однос Са и Р у храни животиња утиче на апсорпцију оба ова минерална елемента односно вишак једног или другог спречава њихову апсорпцију. Међутим, нормалне варијације, које се могу срести у храни, у односу Са:Р, немају значајан утицај на апсорпцију.

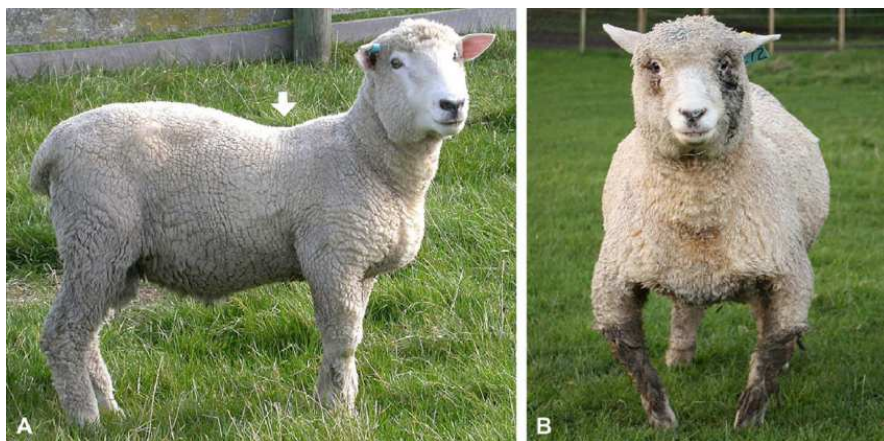
Симптоми недостатка Са и Р. Дефицит Са и Р у храни, или недостатак витамина D, који смањује њихову апсорпцију и искоришћавање, доводи до појаве различитих поремећаја у костима, зубима, субнормалног пораста и производње, смањеног апетита и ефикасности искоришћавања хране. Основни недостатак при оваквим стањима је смањење или недостатак процеса минерализације у костима, док се у исто време синтеза матрикса наставља. Кости оваквих животиња имају карактеристично низак садржај пепела. Кости су мекане и неспособне да одрже свој нормалан облик. До деформације костију долази услед поремећаја у снабдевању минералима који се могу јавити у животиња свих старости, али знатно чешће у младих (слика 28).



Слика 28. Попречни пресек метакарпалних костију свиње, храњене са дефицитарним (лево) и оброком адекватним у садржају калцијума (десно).

Рахитис је израз који означава непотпуну калцификацију костију у младих животиња свих врста. Рахитис карактерише деформисани развој костију, увећане зглобове, фрактуре и укочен ход. При недостатку калцијума у оброку младих животиња, долази до лошег развоја костију. Кости оваквих животиња су мекане, лако се савијају и постају изобличене. Зглобови су увећани и животиње често шепају (слика 29). Кости садрже веома мале количине пепела. У неких од младих животиња, као што су пилићи, долази до смањеног прираста. У свиња, међутим, ово стање има малог утицаја на висину дневних прираста.

У одраслих животиња обољење се назива *остеомалација* и може бити изазвано сувишном мобилизацијом минерала из костију. Акутни случајеви остеомалације јављају се у току gravidитета и лактације у сисара, и периода ношења јаја у живине. Остеомалација може бити последица недостатка Са, недостатка Р, неадекватног односа Са и Р у храни, и недостатка витамина D.



Слика 29. Рахитис код оваца. (А) Појава деформитета кичме (бела стрелица) код овце старе 18 месеци. (В) Појава деформитета предњих екстремитета код овце старе 2 године (Dittmer и сар., 2009.).

У крава непосредно након телења може доћи до појаве *млечне грознице*, стања које карактерише низак садржај Са у крвном серуму, мишићни спазам и парализа (слика 30). Ово обољење је, пре свега, хормонског карактера, пошто паратиреоидна жлезда није у стању да мобилише довољне количине калцијума из костију, непосредно након почетка лактације, тако да су потребе у калцијуму из крви веома велике. Интравенско уношење калцијум глуконата, може привремено или потпуно отклонити симптоме овог обољења. Ради превенције овог обољења, краве се пре телења (у засушењу) хране оброцима који садрже ниске нивое калцијума како би се подстакла активност паратиреоидне жлезде и мобилизација калцијума из костију. Ово се још ефикасније постиже коришћењем анјонских соли (амонијум хлорид, магнезијум сулфат...), али њихово неадекватно коришћење може бити опасно за животињу.



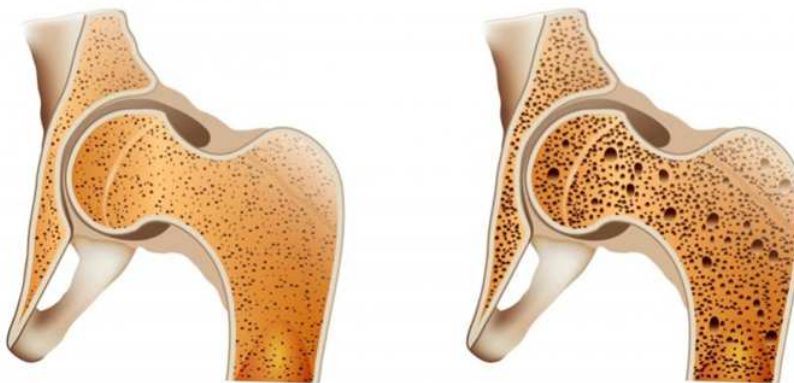
Слика 30. Појава млечне грознице код крава дефицитарних у калцијуму (<https://www.farmosan.com/en/ruminants/dairy-farming/transition-to-lactation/calcium-deficiency>).

Живина има велике потребе у Са непосредно иза проношења, због чега долази до мобилизације резерви Са из костију, за формирање љуске јајета. Животиње се обезбеђују Са из коштане сржи. У току периода формирања љуске јајета ове резерве лабилног Са бивају у потпуности искоришћене. У случају када нису

обезбеђене довољне количине Са из хране, у периоду од 5-7 дана љуска јајета постаје танка и ломљива, а у кокоши долази до развоја остеомалације.

Остеопороза је стање при коме долази до апсолутног смањења костију скелета (слика 31). Састав преосталих костију је нормалан. Брзина формирања костију је такође нормална, али је њихова ресорпција повећана. Повећање ресорпције може бити последица настојања за одржавање нормалног нивоа калцијума у крви, насупротив узимању недовољних количина или абнормалних захтева за Са. Остеопороза је последица изостајања метаболизма у костима одраслих животиња, због недостатка Са у храни. У случају остеопорозе, садржај минерала у костима је нормалан, насупротив остеомалацији, али је укупна коштана маса животиње смањена. У случају остеопорозе, ресорпција костију превазилази њено формирање, а синтеза коштаног матрикса је непотпуна.

Животиње су знатно осетљивије на недостатак Р него Са, пошто се минерали у костима теже мобилишу за одржавање нивоа Р у крвном серуму него Са. Тако, низак ниво неорганског фосфата у серуму може указати на дефицит Р. Први симптом недостатка Р је анорексија (смањен апетит). Дефицит фосфора у оброку говеда може довести до појаве “пице” или “изопаченог апетита”, које представљају један од првих утицаја дефицита Р. Овакве животиње жваћу кости (остеофагија), дрво, длаке, камен и др., имају грубу длаку и постају мршаве (слика 32). Као могућа секундарна последица жвакања костију може доћи до угинућа животиња због ботулизма насталог као последица инфекције са *Clostridium botulinum* из костију. “Пица” није специфичан знак дефицита у Р. Њу такође, може изазвати дефицит у бакру, кобалту или чак гвожђу. Ово стање не мора бити везано искључиво за храну животиње. Међутим, ако телад нису оболела, краве јесу, вероватан је узрок дефицит у Р.



Слика 31. Шематски приказ нормалне кости (лево) и кости код остеопорозе (десно) (www.shutterstock.com).

Ефекат сувишних количина Са и Р у храни. Вишак Р у храни у односу на Са, може изазвати обољење костију, познато под именом *нутритивни секундарни хиперпаратиреоидизам*. Вишак Р у храни смањује апсорпцију Са и тако доводи до опадања нивоа Са у крви. Ово доводи до повећаног ослобађања хормона РТН, што има за последицу мобилизацију Са из костију ради одржавања оптималног нивоа Са у крви. Деминерализоване кости бивају замењене са фиброзним везивним ткивом. Хранидбени секундарни хиперпаратиреоидизам се јавља у коња храњених великим количинама зрнастих хранива, без додатака Са.



Слика 32. Грижа дрвета, знак недостатка фосфора у храни и изопаченог апетита животиња (Јовановић и сар., 2001).

Следеће оболење, изазвано узимањем сувишних количина Р, јесте *уролитијаза*. Ово стање карактерише формирање камена у бубрезима или мокраћној бешици, што има за последицу сметње у лучењу урина. Вишак Са у храни смањује апсорпцију и искоришћавање минерала, нарочито фосфата и микроелемената.

Хранива - извори Са и Р. Различита хранива показују велике разлике у садржају Са и Р. Споредни производи анималног порекла (рибље и месно брашно) су сразмерно богати извори ових минерала, а нарочито производи нижег квалитета са већим учешћем костију. Зрна житарица, споредни производи њихове прераде и уљане сачме, сиромашни су у Са, а богати у Р. Кабаста хранива, а нарочито легуминозе, садрже знатно више Са него Р (табела 42). Садржај Са и Р је низак у кабастим хранивима у току периода вегетације. Због тога, минерални састав зелених и конзервисаних кабастих хранива умногоме зависи од фазе вегетације биљака при убирању. Животиње на паши и животиње које се хране већим количинама кабастих хранива, пре могу испољити знаке недостатка Р. За разлику од њих, животиње храњене оброцима богатим у концентрованим хранивима, пре ће оболети од дефицита Са, због широког односа Р:Са у зрнима житарица и уљаним сачмама.

У практичној исхрани, оброци животиња могу бити дефицитарни у Р и Са, те им зато треба додати минерале. Састав најчешћих минералних додатака, приказан је у табели 43. Са и Р из свих извора, присутни у овој табели, лако су доступни за све врсте животиња. Нетретирани трикалцијум фосфат и суперфосфат могу бити штетни због присуства флуора. Р и Са у већини дефлуорисаних фосфата потпуно су доступни. Неки производи, настали третирањем претерано високим температурама, лошије се користе због формирања пиро- и метафосфата. Кречњак, калцит или брашно од шкољки, садрже готово чист калцијум карбонат, који се може користити као додатак сточној храни.

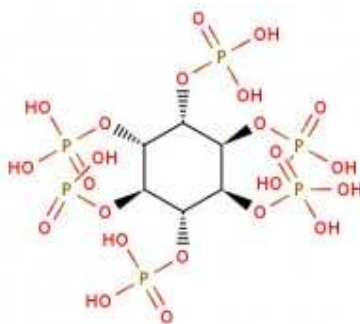
Може се узети као опште правило да сва зрна житарица имају низак укупан садржај Са. Спољашњи омотач (епикард) зрна житарица садржи већи део присутног Са и Р. У вегетативним деловима биљака лишће садржи највећи део Са. Биљке легуминоза су богатије у Са од граминае (слатких, власстих трава). Млеко представља изванредан извор Са и Р. Јаја су сиромашна у Са, а богата у Р. Месо је

лош извор Са. Састав различитих биљних хранива показује велика варирања у зависности од минералног састава земљишта на којима су произведена. Поред тога, на минерални састав хранива у значајној мери утиче међусобни однос стабла и лисне масе биљака. У анималним хранивима, као што су рибље и месно брашно, однос кости и биомасе утиче на количину калцијума у овима.

Ако је оброк сиромашан у Са и Р, они се обично додају у форми неорганских соли. У оброцима животиња додаци Са и Р се обично употребљавају коришћењем одређеног еквивалента, по јединици присутног елемента.

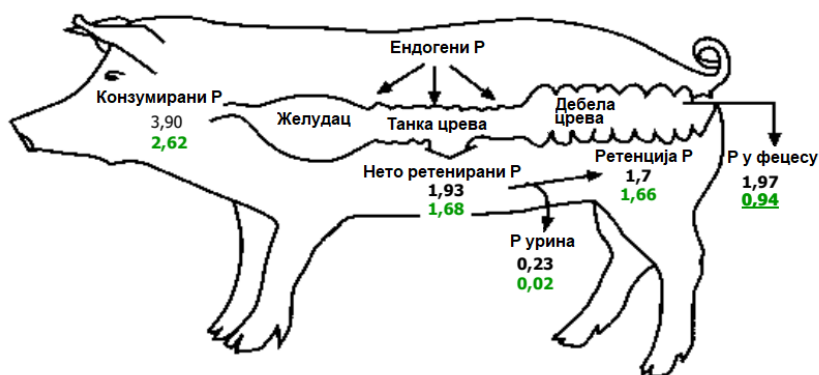
Ефикасност коришћења фосфора. Добри извори фосфора су млеко, зрна житарица, рибље, месно и месно-коштано брашно. Садржај Р у сену и слами је веома низак. Доступност фосфора из различитих хранива заслужује посебну пажњу. Тако нпр., већи део фосфора присутног у зрну житарица је у форми *фитата*, који представљају соли фитинске киселине, деривата фосфорне киселине (слика 33).

Експерименти на пилићима су показали да је фосфор из фитата коришћен са само 10% ефикасности у односу на динатријум фосфат. У огледима са кокошкама носиљама фитатни фосфор је коришћен око 50% у односу на дикалцијум фосфат. Нека биљна хранива, као што је зрно пшенице, садржи ензим *фитазу* и у желуцу свиња изврстан део фитатног фосфора чини доступним деловањем овог ензима. Међутим, вероватно је да се фитаза разграђује у киселим условима чим излучена киселина пенетрира доспелу храну у желуцу. Утврђено постојање активности интестиналне фитазе из микроорганизама, по свој прилици од малог је значаја у исхрани свиња, стога је у оброке свиња, у савременом начину свињарске производње, потпуно оправдано додавање фитазе како би искористивост фосфора била значајно већа. Ово је веома јасно приказано на слици 34. на којој се јасно види да приликом коришћења фитазе у оброку прасади искоришћење фосфора је значајно веће иако је почетна количина фосфора у оброку била значајно мања него код контролне групе.



Слика 33. Структурна формула фитинске киселине.

У експериментима на овцама утврђено је постојање хидролизе фитата од стране бактеријских фитаза у румену. Бактерије у задњем делу црева, такође, поседују фитазну активност, али њихов значај у обезбеђењу моногастричних животиња фосфором није још објашњен. Фитатну форму фосфора преживари користе лако као и друге форме фосфора, мада су испитивања са радиоактивним изотопима показала да се његова доступност може кретати у границама од 0,33-0,90.



Третман	Садржај Р (%)	Конзумација, g/дан	Ретенција, g/дан	Екскреција фосфора, g/дан			Ретенција, %
				фецесом	урином	укупно	
Контрола	0,6	3,90	1,70	1,97	0,23	2,20	44
Фитаза	0,4	2,62	1,66	0,94	0,02	0,96	64

Слика 34. Ефекат додатка фитазе и смањења нивоа фосфора у храни праси од 15 kg на биланс фосфора.

Исхрану животиња високим нивоима Р требало би избегавати, пошто се вишак овог елемента излучује и доприноси загађењу јер подстиче пораст алги у водотоковима. Поред тога, конзумирање великих количина Р, заједно са Mg, може довести до формирања минералних наслага у мокраћној бешици и мокраћном каналу (уролитиаза) и блокирања протока урина у мужјака оваца и говеда.

МАГНЕЗИЈУМ (Mg)

Магнезијум је веома блиско повезан са калцијумом и фосфором. Око 70% од укупне количине Mg у телу налази се у скелету, док преостали део, који је дистрибуиран у меким ткивима и телесним течностима, је од великог значаја за опште стање животиње. Mg је најраспрострањенији активатор ензима, као кофактор у системима тиамин пирофосфата, док је оксидативна фосфорилација смањена у случају дефицита у магнезијуму. Mg је битан активатор фосфатних трансфераза (нпр. креатин киназе) и пируват карбоксилазе, пируват оксидазе и реакција циклуса трикарбонских киселина. Због тога, магнезијум је есенцијалан за ефикасан метаболизам угљених хидрата и масти. Поред тога, укључен је у дисање и многе друге реакције у ћелији као што је формирање комплекса са аденозин три-, ди- и монофосфатима. Из напред наведеног, јасно произилази да је Mg један од кључних елемената у биохемији и функционисању ћелије.

Хемизам и дистрибуција магнезијума. У биљкама је саставна компонента хлорофила, металопротеинског комплекса који је веома битан за фотосинтезу. Садржај Mg у хранивима варира у зависности од врсте биљака, старости и плодности земљишта на коме ове расту. Зрна биљака прилично су сиромашна у садржају магнезијума, који износи 0,15-0,20% од масе зрна. Мекиње обично садрже 0,4-0,6% магнезијума, а траве 0,15-0,25%, док у црвеној детелини има 0,4-0,5% магнезијума. Млеко и млечни производи имају низак садржај Mg. Када је неопходно додавање Mg храни животиња, најчешће се користи магнезијум оксид.

При конзумирању недовољних количина Mg, у младих животиња може доћи до мобилизације 60% Mg из костију. Насупрот њима, у одраслих животиња које пате од недостатка Mg, не долази до његове мобилизације из костију. Велике количине Mg присутне су у пљувачци и соковима за варење, а реапсорпција ендогеног Mg у великој мери утиче на хомеостазу Mg.

Апсорпција и секреција магнезијума. Магнезијум се апсорбује у танким цревима, и као калцијум и фосфор, поново се може излучити у значајним количинама кроз мукозу црева у задње делове црева. Због тога, једино нето апсорпција представља поуздану меру ефикасности искоришћавања магнезијума. Магнезијум се излучује фецесом и урином, али се највећи део губи фецесом, који обично садржи 65% и више излученог магнезијума. Конзумирање сувишних количина магнезијума доводи до повећане екскреције калцијума урином, а сувишно конзумирање калцијума резултира у повећаној екскрецији магнезијума урином.

Потребе животиња у магнезијуму. Кабаста хранива, произведена на земљиштима која су ђубрена високим нивоима азота и калијума, често пута садрже смањене количине магнезијума и натријума (табела 43). При појави пашне тетаније у говеда, храњених са овим хранивима, могуће је да, такође, пате од недостатка натријума, пошто су слични симптоми.

Највећи број оброка за животиње садржи довољне количине Mg за обезбеђење њихових потреба. Преживари захтевају оброке који садрже 0,20% Mg у сувој материји, а непреживари само 0,05% (табела 45). У непреживара Mg се апсорбује преко танког и дебелог црева, док је то у преживара, углавном, преко ретикулорумена. Mg присутан у млеку доступан је око 70% за преживаре у периоду сисања. У исхрани одраслих преживара доступност Mg из кабастих хранива износи свега 20%, а из концентрованих 35%. Коефицијент апсорпције Mg за непреживаре износи око 50%.

Садржај Са и Р у храни има одређени утицај на потребе животиња у Mg. Оброци са високим садржајем Р, не само да смањују апсорпцију Mg из хране, већ такође, повећавају губитке ендогеног Mg фецесом. Високи нивои Mg у храни могу повећати потребе у Са када је ниво Р у оброку висок. Дефицит у Mg изазива депоноване Са у бубрезима. Оброцима изразито сиромашним у Mg потребно је додавати MgO или MgCO₃ (табела 43). Апсорпција Mg у преживара износи око 70% из ова два извора. Апсорпција у румену може бити ослабљена високим нивоима К, NH₃, фосфата и одређеним органским киселинама у биљкама. За предвиђање ризика од појаве недостатка магнезијума код преживара користи се „тетанијски индекс“, $K/(Ca+Mg)$, однос калијума према збиру калцијума и магнезијума, изражених у милиеквивалентима. Овај однос мора бити мањи од 2,2 да би се избегао негативан утицај калијума на апсорпцију магнезијума.

Симптоми недостатка магнезијума. Општи симптоми недостатка Mg су смањен прираст и хиперраздражљивост животиња. У акутним случајевима дефицита, хиперраздражљивост је обично праћена конвулзијама и угинућем животиња. Још 30-тих година прошлог века је утврђено да су телад одгајена искључиво на млеку, показивала знаке тетаније (грчења мишића), коју карактерише низак ниво магнезијума у крви. Утврђено је да је *пашна тетанија* или *хипомагнезимија* преживара, метаболичко обољење крава, повезано са ниским нивоом магнезијума у серуму. Говеда која пате од недостатка магнезијума су нервозна, главу држе високо, уши накомтрешене, а очи су укочене. Животиње имају укочен и несигуран

ход, праћен сталним трзајима мишића лица и ушију. Затим, животиње постају екстремно раздражљиве и долази до појаве снажних конвулзија, лежу на бок, праве покрете предњим ногама што је праћено убрзаним покретима вилица и шкргутањем зуба. Уколико убрзо не дође до третирања животиња, оне падају у кому и умињавају.

При уобичајеним условима исхране јављају се два типа дефицита Mg у говеда. Први тип се јавља у телади, током продуженог периода млечне исхране, дефицитарног у Mg. Други тип, познат под именом пашна тетанија, јавља се у крава музара.

Оброци са изузетно ниским садржајем Mg, доводе до опадања нивоа Mg у крвном серуму до 0,5 mg/100 ml. Насупрот значајном опадању количине Mg у крвном серуму животиња које пате од његовог дефицита у храни, нивои Ca и P у крвном серуму остају нормални. Због тога што низак ниво Ca у крвном серуму, такође, изазива појаву тетаније, стање изазвано недовољном количином Mg у крвном серуму се означава као *“магнезијумова тетанија”*. Тетанија изазвана недостатком Mg прво је утврђена у телади храњених само млеком у току дужег периода или млеком и додатком сиромашним у Mg. Ово стање је прво запажено у млечних раса говеда, непосредно иза телења и при држању на доброј паши. Ово стање карактерише нервоза, грчење мишића и коначно конвулзије. Број угинућа обично је висок. У случају пашне тетаније садржај Ca, као и Mg, у крвном серуму је низак.

Недостатак Mg у младих пилића доводи до успореног пораста. Поред убрзаног дасања, пилићи постају летаргични, после појачаних конвулзија може доћи и до угинућа.

Извори магнезијума. Већина лиснатих биљака и зрна житарица су богати извори магнезијума, док су млеко и производи животиња много лошији. Минерални извори магнезијума и коефицијенти апсорпције овог елемента из истих су приказани у табели 44.

НАТРИЈУМ (Na), КАЛИЈУМ (K) и ХЛОР (Cl)

Ова три минерална елемента најчешће се разматрају заједно, због сличности њихових функција и дистрибуције у организму. Ca, P и Mg су депоновани у костима, док се Na, K и Cl јављају у највећој мери у телесним течностима и меким ткивима. Ова три елемента одржавају осмотски притисак, ацидо-базну равнотежу и врше контролу метаболизма воде у телесним ткивима. Највећи део Na у организму животиња је присутан у меким ткивима и телесним течностима. Исто као K и Na учествује у регулисању осмотског притиска и ацидо-базне равнотеже у телесним течностима. Na је главни катјон у крвној плазми и другим екстрацелуларним течностима организма. Концентрација Na у ћелијама организма је релативно ниска. Na, такође, игра одређену улогу у трансмисији нервних импулса и апсорпцији шећера и аминокиселина из дигестивног тракта.

Велики део Na се уноси у форми NaCl, а у овој форми се углавном и излучује из организма. Na је више од Cl, главни лимитирајући фактор у оброцима оваца и крава дефицитарним у соли.

Заједно са Na, Cl и јонима бикарбоната, K игра веома важну улогу у регулисању осмотског притиска у телесним течностима и ацидо-базне равнотеже у организму животиња. Мада је Na најважнији неоргански катјон у екстрацелуларним течностима ткива, K функционише углавном, као катјон у ћелијама. K игра важну

улогу у нервној и мишићној раздражљивости, а учествује и у метаболизму угљених хидрата.

Cl је повезан са Na и K у регулисању ацидо-базне равнотеже и осмотског притиска у организму животиња. Cl, такође, игра важну улогу у секрецији желуца, где се јавља у форми хлороводоничне киселине, као и соли хлорида. Cl се излучује из организма урином и знојем. Дефицит Cl у храни може довести до ненормалног пораста алкалних резерви у крви (алкалоза), изазваних вишком бикарбоната, пошто су неадекватни нивои Cl у организму делимично компензовани повећањем садржаја бикарбоната.

Натријум. У организму одрасле животиње, више од једне половине натријума је присутно у екстрацелуларним течностима (крвној плазми, интерстицијалним течностима). Преостали део натријума налази се у скелету. Унутар ћелија натријум је присутан у релативно малој концентрацији, где може бити замењен са катјонима калијума и магнезијума. Покушаји замене садржаја натријума у крви, смањењем конзумирања минерала, показали су се неефикасним. При томе долази до прекида пораста, али се састав крви не мења.

Натријум се брзо апсорбује из танких црева, мада се извесне количине апсорбују и из желуца. Практично, читава количина конзумираног Na (85-90%) се излучује урином, као хлориди и фосфати. Однос K и Na у урину је обично око 3:5.

Најважније функције јона Na у организму животиње повезане су са регулисањем осмотског притиска и одржавањем ацидо-базне равнотеже. Поред тога, јон Na утиче на раздражљивост ткива, као што су мишићи, супротно деловању јона Ca у односу од око 1-2 јона Ca:100 јона Na. Натријум игра специфичну улогу у апсорпцији угљених хидрата. Јон Na побољшава апсорпцију глукозе супротно градијенту концентрације.

Већина животињских ткива садрже велике количине Na, док су биљна хранива дефицитарна у овом елементу (табела 42). Мада сиромашне у Na, биљке су обично богате у K, због чега конзумирање биљних хранива доводи до пораста количине Na излученог урином.

Калијум. Калијум као и натријум, присутан је у ткивима само као јон калијума. Организам одраслог човека садржи око 250 g калијума, готово у потпуности унутар ћелија. У ствари, калијум је најдоминантнији катјон у интрацелуларним течностима.

Калијум се апсорбује, углавном, из танких црева, а излучује урином. У регулисању интрацелуларног осмотског притиска и ацидо-базне равнотеже, калијум испуњава у ћелијама исте опште функције које натријум обавља у екстрацелуларним течностима организма. Јон калијума има стимулативни утицај на мишићну раздражљивост, који, као и у случају натријума, тежи супротном утицају од јона калцијума. Поред свега тога, у условима изразитог дефицита соли у храни, калцијум је важан за подржавање минималног садржаја калијума у телесним ткивима.

Јон калијума учествује у метаболизму угљених хидрата и протеина. Нпр. формирање гликогена и разградња глукозе захтевају присуство калијума. И синтеза протеина захтева овај јон.

Количина калијума у организму животиње је у корелацији са мишићном масом тела. Ова чињеница представља основу за израчунавање мишићне масе тела *ин vivo*, одређивањем колико је присутно радиоактивног изотопа ^{40}K у организму. Пошто је однос ^{40}K и укупног калијума у организму константан, могуће је

израчунати укупан садржај калијума коришћењем ових вредности за оцену мишићне масе организма.

Обиље калијума у биљним и животињским хранивима, искључује опасност од дефицита овог елемента у мешаним оброцима. Изузетак могу бити високопроизводне краве у условима топлотног стреса. Оне луче велике количине калијума млеком, знојем и урином, а не уносе много кабастих хранива која су богата калијумом. Насупрот томе, засушене краве често уносе превише калијума, због оброка богатих сеном, а то може повећати ризик од појаве млечне грознице и едема вимена. Садржај калијума у сену је директна последица његовог присуства у земљишту.

Хлор. Исто као натријум и хлор је присутан у биолошком материјалу и то искључиво у форми јона. Највећи део хлора налази се у екстрацелуларним течностима, али је присутан у одређеном обиму у црвеним крвним зрнцима, а у мањем у ћелијама других ткива.

Хлор се апсорбује, углавном из танких црева. Хлор присутан у сувишним количинама у храни животиња, излучује се урином, а излучени хлор је обично праћен вишком натријума или калијума.

Хлор је есенцијалан за регулисање осмотског притиска, чинећи око 2/3 укупних јона крвне плазме и сличну фракцију других екстрацелуларних течности организма. Мада постоји уска веза између хлора и натријума у одређеним биолошким процесима, јон хлора има функције које су својствене њему, а које су суштински независне од функција јона натријума. Тако, нпр. хлор је главни анјон желудачног сока и присутан је у приближно истој концентрацији као у крви. У желудачном соку праћен је пре са водониковим, него јонима натријума, као у плазми и другим екстрацелуларним течностима организма. Друга специфична функција јона хлора је у крви, у току транспорта CO_2 . Садржај бикарбоната у крвној плазми је значајно повећан помоћу размене са хлоридом плазме, који касније доспева у црвена крвна зрнца.

Со (NaCl). Пошто биљке и биљна хранива имају низак садржај натријума и хлора, додавање соли оброку животиња данас је редовна пракса у исхрани хербивора (табела 44). Ако нема соли на располагању, постоји веома велика вероватноћа за пораст симптома дефицита у говеда и оваца. Експерименти изведени на кравама музарама, храњеним оброцима дефицитарним у соли, нису показали појаву болесног стања, али је поремећен апетит праћен губитком телесне масе и смањеном производњом млека (слика 35). Додавање соли оброку крава довело је до брзог отклањања последица дефицита. Веома је важно присуство соли у оброцима кокоши, пошто спречава кљуцање перја и појаву канибализма. Со се обично даје свињама при исхрани оброцима састављеним од биљних хранива.

Сувишна количина соли у оброку животиња је штетна и изазива сувишну жеђ, мишићну слабост и појаву отока. Тровање сољу је прилично распрострањено у свиња и живине, а нарочито када је ограничена количина свеже питке воде. Када је концентрација соли у оброку кокоши носила преко 40 g/kg СМ и ограничена количина воде, може доћи до угинућа животиња. Кокошке могу толерисати веће количине соли ако имају на располагању довољне количине воде. Супротно од њих, пилићи не могу толерисати со, а количина од 20 g/kg СМ у оброку може се сматрати као апсолутни максимум. Ова количина се не сме прећи ни у случају свиња. Ђурићи су још мање толерантни, те се не сме прећи количина од 10 g/kg СМ оброка. У ситуацијама када је потребно повећати концентрацију натријума у храни, а

избећи повећање концентрације хлора, део соли се замени натријум бикарбонатом. Ово се често ради код пилића у тову.



Слика 35. Изглед дехидриране краве због недостатка соли (NaCl) у храни (https://www.propofs.com/quiz-school/story.php?title=pathophysiology_20).

Со се често пута конзумира у количинама које су веће од телесних потреба. Способност организма да се адаптира широким варијацијама у конзумирању соли, заснива се на способности бубрега да излуче повећане количине соли. Са нормалним бубрезима и конзумирању адекватних количина воде, организам животиње може толерисати конзумирање великих количина соли. Међутим, у животињама које су претходно патиле од недостатка соли, нагло и конзумирање великих количина може довести до тровања животиње. Тровање са натријумом је чешће, ако је вишак натријума праћен дефицитом калијума. Конзумирање сувишних количина соли доводи до задржавања воде у организму, изазивајући појаву едема.

Перманентно изразито ниско конзумирање соли, може негативно утицати на здравље, што се испољава губитком апетита и тежине животиње, као и концентрације крви, а што има за последицу задржавање отпадних продуката азота. Дефицит соли је чешће присутан у хербивора него у других врста животиња, пошто су кабаста хранива и зрна житарица релативно сиромашна у садржају соли. Дефицит се може јавити и као последица сувишног знојења. У зноју, NaCl и KCl се губе заједно са водом. У оваквим случајевима, поред надокнађивања изгубљене течности, потребно је надокнадити и изгубљену со.

Ацидо-базна равнотежа. У физиолошком смислу, електролите треба узимати заједно, пошто ћелије организма захтевају специфичан биланс аниона и катјона за ефикасно функционисање. Немогућност одржавања правилног биланса електролита унутар ћелија, значи да се метаболички процеси не могу одвијати ефикасно, а одржавање хомеостазе постиже се на рачун пораста животиња. Храна је важна у одржавању правилног интрацелуларног биланса електролита услед садржаја метаболичких аниона и катјона, који се конзумирају или стварају киселине у току метаболизма. Значајно је истаћи да промене у равнотежи утичу на метаболизам енергије, аминокиселина, витамина D и калцијума. На овај начин се утиче на ефикасност пораста у свих врста животиња и има улогу у формирању љуске јајета и појави млечне грознице. Са билансом електролита је манипулисано у циљу савладавања утицаја топлотног стреса на живину. Одређена патолошка стања могу изазвати поремећаје у билансу електролита. Такви примери су повраћање (губитак хлорида), диареја (губитак бикарбоната) и сувишна оксидација аминокиселина (производња сувишних количина киселине).

Присуство у храни и метаболичка регулација. Потребе свих врста животиња у Na и Cl износе од 0,1-0,2% суве материје obroка, за сваки од ових минерала. Потребе у K износе око 0,2-0,5% за непреживаре, а 0,6-0,8% или више за преживаре (табела 45). Кабаста хранива садрже веће количине K од концентрованих (табела 43), а нарочито при прихрани биљака високим дозама калијума. Кукурузна силажа је донекле изузетак јер биљка кукуруза акумулира мање калијума него друге крмне културе, а нарочито мање него легуминозе. Уобичајени obroци за животиње обично обезбеђују потребе у K. Међутим, краве музаре при исхрани obroцима богатим у концентрованим хранивима, могу бити на граници дефицита у K. Насупрот овоме, Na у мањој мери и Cl, нису увек присутни у obroцима у довољним количинама. Зато је уобичајено накнадно додавање NaCl.

Вишак Cl у obroку може изазвати ацидозу, а вишак K алкалозу. Због тога, пожељно је користити obroке са приближно истим количинама Na и Cl. Ово је важније у исхрани непреживара и младих животиња, а нарочито живине, због њиховог ограниченог капацитета за регулацију ацидо-базне равнотеже.

Однос K и Na у obroцима животиња у већини случајева није критичан. Високе концентрације K и субнормални нивои Na у obroку, изазивају лучење алдостерон хормона, који повећава тубуларну реапсорпцију Na у бубрезима и екскрецију K. На овај начин, одржавају се нивои Na и K у крвном серуму у оквирима нормалних вредности.

Семе већине житарица прилично је сиромашно у натријуму. Просечан садржај натријума у њима се креће од 0,001-0,06%. Хранива животињског порекла обично имају висок садржај натријума (0,1-0,8%). Паша и кабаста хранива садрже од 0,007 до 0,12% натријума.

Већина хранива за животиње садрже значајне количине калијума. Тако нпр., зрна житарица садрже 1-2% (брашно кукурузног глутена је изузетак пошто садржи мање од 0,1% калијума), а производи животиња 0,3-2,0% калијума.

Већина биљних хранива прилично је сиромашна у садржају хлора. Хранива животињског порекла и производи прераде риба садрже умерене количине хлора.

СУМПОР (S)

Највећи део сумпора у организму животиње налази се у протеинима који садрже аминокиселине цистин, цистеин и метионин. Поред тога, S садрже витамини биотин и тиамин, хормони инсулин и коензим A. Структурно једињење хондроитин сулфат је компонента хрскавице, костију, тетива и зидова крвних судова. Једињења која садрже S су, такође, важна и за ток респираторног процеса. Само мала количина S је присутна у неорганској форми у организму животиња, мада је познато да се сулфати јављају у малим количинама у крви. Вуна оваца је богата у цистину и садржи око 4% S.

Значају сумпора у исхрани животиња традиционално се придаје мала пажња, пошто је конзумирање овог елемента, углавном, у форми протеина, а дефицит сумпора ће указати на дефицит у протеинима. Повећаном употребом уреје и других NPN једињења, утврђено је да сумпор може представљати ограничавајући фактор у синтези цистина, цистеина и метионина у румену преживара. Под овим условима додавање сумпора obroцима који садрже уреју је од несумњиве користи. Има доказа да сулфат (као натријум сулфат) може бити употребљен од стране микроорганизама румена ефикасније од елементарног сумпора. У телесним ткивима и млеку однос азота и сумпора је 15:1, зато постоје препоруке да се

потребе у сумпору израчунавају множењем потребне количине RDN (у румену разградиви азот) са 0,07 (тј. еквивалент за однос N:S од 14:1).

Разматрање значаја сумпора у исхрани животиња је од посебне важности при интензивној производњи животиња. Изгледа да је од мањег практичног значаја неоргански сумпор у исхрани непрживара, мада испитивања на свињама, пилићима и живини указују да неоргански сулфат може довести до смањења потреба у аминокиселинама које садрже сумпор.

Вишак сумпора у храни може довести до тровања, при чему се од стране флоре гастроинтестиналног тракта, формира водоник-сулфид (H_2S), токсично једињење. Ово једињење смањује покретљивост румена и изазива нервне и респираторне тегобе.

Обезбеђеност животиња сумпором. У случају недостатка у оброку непрживара аминокиселина са S, део потреба у S се може обезбедити неорганским сулфатима (табела 43). Неоргански S је од мањег практичног значаја у исхрани непрживара, мада су испитивања на свињама, пилићима и живини показала да неоргански сулфати могу имати веома користан ефекат на величину потреба животиња у аминокиселинама. Сувишне количине сулфата смањују конзумирање хране и неповољно утичу на доступност других минерала, као што су Zn и Mn. Сматра се да потребе говеда у S износе 0,20%, а да максималну количину у оброку треба ограничити на 0,35%, при чему не сме бити више од 0,20% из додатих сулфата.

Метаболизам сумпора, у ствари, не спада у метаболизам неорганских елемената, пошто је само безначајан део конзумираног сумпора у неорганској форми. Неоргански сумпор је неефикасан у задовољавању телесних потреба. Поред свега изнетог, мала количина неорганског S у храни прживара може побољшати њихову способност за искоришћавање уреје, као извора N. Међутим, неоргански S може бити опасан, ако се конзумира у великим количинама. Активношћу микрофлоре у дигестивном тракту прживара настаје водоник-сулфид, који се лако апсорбује, а може изазвати поремећаје.

Табела 43. Садржај макроелемената у најзначајнијим хранивима (% у сувој материји) (NRC, 1996).

Храниво	Са	Р	Mg	Cl	К	Na
Детелина, црвена, сено	1,38	0,24	0,38	0,32	1,81	0,18
Јечам зрно, лако	0,06	0,39	0,15	0,13	0,52	0,03
Јечам зрно, тешко	0,05	0,35	0,12	0,13	0,57	0,01
Кукуруз, зрно	0,04	0,30	0,15	0,06	0,32	0,01
Кукуруз, силажа, 35% зрна	0,31	0,27	0,22	0,18	1,22	0,03
Кукуруз, силажа, 45% зрна	0,25	0,22	0,18	0,18	1,14	0,01
Луцерка дехидрирана, 15% СП	1,38	0,25	0,29	0,45	2,46	0,08
Луцерка силажа, касно цветање	1,74	0,27	0,33	0,41	2,35	0,16
Луцерка силажа, рано цветање	1,32	0,31	0,26	0,38	2,85	0,02
Луцерка силажа, средина цветања	1,74	0,27	0,33	0,41	2,35	0,16
Луцерка, сенажа	2,29	0,23	0,27	0,41	2,42	0,06
Луцерка, сено, зрела биљка	1,18	0,21	0,22	0,35	2,07	0,08
Луцерка, сено, касно цветање	1,19	0,24	0,27	0,37	1,56	0,07
Луцерка, сено, пуно цветање	1,19	0,24	0,27	0,37	1,56	0,07
Луцерка, сено, рано цветање	1,63	0,22	0,21	0,34	2,51	0,12
Луцерка, сено, средина цветања	1,37	0,22	0,35	0,38	1,56	0,12
Меласа, репа	0,15	0,03	0,29	1,64	6,06	1,48
Пшеница, млевена	0,05	0,44	0,13	0,09	0,40	0,01
Пшеничне мекиње	0,13	1,38	0,60	0,05	1,56	0,04
Сирак, зрно	0,05	0,34	0,14	0,09	0,47	0,04
Сирак, силажа	0,49	0,22	0,28	0,13	1,72	0,01
Соја, зрно	0,27	0,65	0,27	0,03	2,01	0,04
Сојина сачма, 44% СП	0,40	0,71	0,31	0,08	2,22	0,04
Сојина сачма, 49% СП	0,29	0,71	0,33	0,08	2,36	0,01
Суданска трава, силажа	0,50	0,21	0,42	0,00	2,61	0,02
Сунцокретова сачма	0,45	1,02	0,70	0,11	1,27	0,03

Табела 44. Састав појединих минералних извора и коефицијенти апсорпције макроелемената за краве музаре прерачунати на 100% суве материје (NRC, 2001).

Извор минерала	Хемијска формула	Садржај минерала (%)	Коефицијент апсорпције
Извори калцијума			
Коштано брашно	-	30,71	0,95
Калцијум карбонат	CaCO ₃	39,39	0,75
Калцијум хлорид, анхидровани	CaCl ₂	36,11	0,95
Калцијум оксид	CaO	71,47	0,50
Калцијум фосфат	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	16,40	0,95
Дикалцијум фосфат	CaHPO ₄	22,00	0,94
Извори фосфора			
Коштано брашно	-	12,86	0,80
Калцијум фосфат	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	21,60	0,80
Дикалцијум фосфат	CaHPO ₄	19,30	0,75
Натријум фосфат монохидрат	NaH ₂ PO ₄ x H ₂ O	22,50	0,90
Извори натријума			
Коштано брашно	-	5,69	0,90
Натријум хлорид	NaCl	39,34	0,90
Натријум бикарбонат	NaHCO ₃	27,00	0,90
Натријум фосфат монохидрат	NaH ₂ PO ₄ x H ₂ O	16,68	0,90
Натријум селенит	Na ₂ SeO ₃	26,60	0,90
Извори калијума			
Калијум бикарбонат	KHCO ₃	39,05	0,90
Калијум карбонат	K ₂ CO ₃	56,58	0,90
Калијум хлорид	KCl	50,00	0,90
Калијум јодид	KI	21,00	0,90
Калијум сулфат	K ₂ SO ₄	41,84	0,90
Извори магнезијума			
Магнезијум карбонат	MgCO ₃ + Mg(OH) ₂	30,81	0,95
Магнезијум хлорид хексахидрат	MgCl ₂ x 6H ₂ O	11,96	0,90
Магнезијум оксид	MgO	56,20	0,70
Магнезијум сулфат хептахидрат	MgSO ₄ x 7H ₂ O	9,80	0,90

Табела 45. Потребе у макроелементима код животиња (на 90% суве материје оброка, за непреживаре и 100% суве материје оброка, за преживаре, уколико није другачије назначено) (NRC, 1994; NRC, 1996; NRC, 1998; NRC, 2001; NRC, 2007; LfL, 2015).

Животиња	Са (%)	Р (%)	На (%)	Cl (%)	Mg (%)	К (%)
Свиње						
Свиње у порасту и тову						
5-7 kg ТМ	0,85	0,70	0,40	0,50	0,04	0,30
7-11 kg ТМ	0,80	0,65	0,35	0,45	0,04	0,28
11-25 kg ТМ	0,70	0,60	0,28	0,32	0,04	0,26
25-50 kg ТМ	0,66	0,56	0,10	0,08	0,04	0,23
50-75 kg ТМ	0,59	0,52	0,10	0,08	0,04	0,19
75-100 kg ТМ	0,52	0,47	0,10	0,08	0,04	0,17
100-135 kg ТМ	0,46	0,43	0,10	0,08	0,04	0,17
Крмаче						
Гравидитет	0,43-0,83	0,38-0,62	0,15	0,12	0,06	0,20
Лактација	0,60-0,80	0,54-0,67	0,20	0,16	0,06	0,20
Нерастови	0,75	0,75	0,15	0,12	0,04	0,20
Живина						
Носиље					mg/kg	
0 до 6 недеља	0,9	0,4	0,15	0,12	570	0,25
6 до 12 недеља	0,8	0,35	0,15	0,11	470	0,25
12 до 18 недеља	0,8	0,3	0,15	0,11	370	0,25
18 недеља до првог јајета	1,8	0,35	0,15	0,11	370	0,25
Носиље у експлоатацији	4,06	0,31	0,19	0,16	625	0,19
Бројлери						
0 до 3 недеља	1,0	0,45	0,20	0,20	600	0,30
3 до 6 недеља	0,9	0,35	0,15	0,15	600	0,30
6 до 8 недеља	0,8	0,30	0,12	0,12	600	0,30
Ћурке						
Товне ћурке					mg/kg	
0 до 4 недеља	1,20	0,60	0,17	0,15	500	0,70
4 до 8 недеља	1,00	0,50	0,15	0,14	500	0,60
8 до 12 недеља	0,85	0,42	0,12	0,12	500	0,50
12 до 16 недеља	0,75	0,38	0,12	0,12	500	0,50
16 до 20 недеља	0,65	0,32	0,12	0,12	500	0,40
20 до 24 недеља	0,55	0,28	0,12	0,12	500	0,40
Уздржне потребе	0,50	0,25	0,12	0,12	500	0,40
Носиље	2,25	0,35	0,12	0,12	500	0,60
Патке						
0 до 2 недеље	0,65	0,4	0,15	0,12	500	
2 до 7 недеља	0,6	0,3	0,15	0,12	500	
Приплод	2,75		0,15	0,12	500	

Табела 45. Потребне у макроелементима код животиња (на 90% суве материје оброка, за непреживаре и 100% суве материје оброка, за преживаре, уколико није другачије назначено) (*наставак*).

Животиња	Са (%)	Р (%)	На (%)	Cl (%)	Mg (%)	К (%)
Говеда						
Високопроизв. краве	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3	1,1
Нископроизв. краве	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	1,0
Засушене краве	0,4	0,3	0,1	0,3	0,3	0,9
Телад	0,8	0,5	0,2	0,2	0,2	0,9
Млађа јунад	0,8	0,4	0,1	0,2	0,2	0,9
Старија јунад	0,6	0,3	0,1	0,2	0,2	0,9
Приплодне јунице	0,6	0,3	0,1	0,2	0,1	0,7
Овце						
Овце у лактацији	0,7	0,4	0,1	0,2	0,2	0,7
Овце ван лактације	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,6
Јагњад у тову	0,7	0,3	0,1	0,1	0,1	0,5
Козе						
Козе у лактацији	0,6	0,3	0,3	0,1	0,2	0,7
Козе ван лактације	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,4

3.6.2. МИКРОЕЛЕМЕНТИ

Разлика између макроелемената и микроелемената је у релативним количинама потребним у храни, неопходним за одвијање нормалних животних процеса. Микроелементи су потребни у веома малим количинама, које се крећу од микрограма (μg), до милиграма (mg) на дан.

Модерна аналитичка техника омогућава одређивање веома малих количина микроелемената у хранивима и телесним ткивима животиња. Нпр. више од 25 различитих микроелемената је утврђено у крвном серуму и ткиву бубрега, од којих су неки у количинама које се претходним аналитичким поступцима нису могле идентификовати. За следеће микроелементе је утврђено да су неопходни за одвијање бројних животних процеса у једне или више врста животиња, а то су: В, Со, Cr, Cu, F, I, Fe, Mn, Mo, Se, Si и Zn. Такође, на основу резултата испитивања изведених на једној или више врста животиња доказано је да су и микроелементи Al, As, Cd, Ni, V, Sn, B, Br, Pb и Li неопходни за многе животне процесе.

Микроелементи служе као активатори ензимских система или као компоненте различитих органских једињења, потребних у веома малим количинама.

ГВОЖЂЕ (Fe)

Гвожђе има веома важну улогу у организму животиња. Но, и поред тога, сматра се да животиње немају захтеве за допунским изворима Fe, а нарочито не одрасле животиње, пошто оброци садрже довољне количине овог минерала.

Више од 90% гвожђа у организму животиње је комбиновано са протеинима, од којих је најважнији *хемоглобин*, који садржи око 3,4 g/kg елемента. Гвожђе се, такође, јавља у крвном серуму у протеину познатом под именом *трансферин*, који је одговоран за транспорт гвожђа. Fe има највећу улогу у биохемијским реакцијама

животиња, нарочито у вези са ензимима за транспорт електрона (цитохрома). Електрони бивају транспортовани помоћу оксидације и редукције везаног гвожђа. Међу ензиме који садрже или су активирани од стране гвожђа спадају каталаза, пероксидаза, фенилаланин хидроксилаза и многи други, укључујући ензиме циклуса трикарбонских киселина.

Дистрибуција и функције Fe у организму. Организам различитих врста животиња садржи 60-70 mg Fe/kg телесне масе. Од тога 60-70% отпада на хемоглобин, 3% на миоглобин, 26% је у депоима, а мање од 1% Fe налази се у форми једињења за транспорт. Хемоглобин, миоглобин и неколико респираторних ензима, садрже Fe у форми порфириноског комплекса, *хема*, који је везан за протеинску компоненту, која варира са сваком од ових биолошки активних једињења.

Хемоглобин има улогу носача кисеоника у респирационим процесима, пошто веза између Fe и глобина стабилизује Fe у феро стању и омогућава му да повратно везује кисеоник. Хемоглобин врши транспорт кисеоника између плућа и телесних ткива. Концентрација хемоглобина у крви варира у зависности од врсте животиња, старости и пола, а вредности се крећу од 10-18 g/100 ml.

Миоглобин је комбинација хема и глобина мишића и поседује велики афинитет за кисеоник. Миоглобин служи као депо кисеоника у мишићима и неопходан је за нормалну функцију мишића. Гвожђе је присутно у одређеном броју ензима, укључујући флавопротеин ензиме (ксантин оксидаза, сукцинат дехидрогеназа) и у хемопропротеин ензимима, као што су цитохром ензими, каталаза и пероксидаза. Ови ензими су есенцијални за искоришћавање кисеоника на нивоу ћелије.

Резерве депонованог Fe налазе се у форми два једињења: *феритин* и *хемосидерин*, који су лоцирани претежно у јетри, слезини и бубрезима. Феритин садржи до 20% Fe. Хемосидерин се састоји претежно од фери хидроксида у агрегату без протеина и може садржати до 35% Fe. Гвожђе је присутно у крвном серуму, везано за безбојни протеин, назван *трансферин*. Ово је гликопротеин који служи као носач Fe, а на исти начин испољава своју активност као хемоглобин.

Црвена крвна зрнца и хемоглобин се стално разграђују и обнављају. Због тога, гвожђе подлеже веома активном метаболизму у организму. Гвожђе ослобођено у току нормалне разградње еритроцита користи се за синтезу хемоглобина, разграђеног у коштаном сржи. У већине врста животиња просечан животни век хемоглобина износи око 2 месеца. Гвожђе ослобођено из хемоглобина може бити употребљено 9-10 пута за ресинтезу хемоглобина. Само мале количине Fe избегавају овај циклус и бивају излучене фецесом (у жучној течности) и урином. Из ових разлога, као и због ефикасног рециклирања Fe, потребе животиња у овом минералу сразмерно су мале (25-100 mg/kg CM хране) у односу на његов садржај у организму (200-300 mg/kg CM).

Апсорпција и екскреција. Гвожђе се апсорбује, углавном, из танких црева, мада изванредан део може бити апсорбован и из желуца. Гвожђе из хране се апсорбује у нутритивно значајним количинама само када се налази у неорганској форми, док је *феро гвожђе* (Fe^{2+}) *доступније за апсорпцију од фери гвожђа* (Fe^{3+}). Отуда, присуство било које редукуюће супстанце (нпр. аскорбинске киселине) повећава способност апсорпције гвожђа. Има довољно доказа да апсорпција гвожђа зависи од стања телесних депоа гвожђа. Гвожђе из хране улази у епителне ћелије црева као хелат, са угљеним хидратима (фруктоза или сорбитол) или неким аминокиселинама. Обим у коме се ослобађа гвожђе из ћелија епитела и улази у

општу циркулацију, зависи од стања трансферина у плазми. Ако је трансферин релативно засићен, обзиром на његов капацитет везивања гвожђа, мало гвожђа се апсорбује из ћелија. Гвожђе се брзо може апсорбовати, тако што се појављује уграђено у црвеним крвним зрнцима у року од 4 часа након његовог конзумирања. Међутим, за комплетну конверзију апсорбованог гвожђа у хемоглобин потребно је око 7 дана. Одмах након апсорпције, гвожђе се упорно одржава у организму, тако да се веома мале количине излучују. То значи да су потребе одраслих животиња у гвожђу мале, изузев за надокнаду губитака крвљу.

Једињења хема, присутна у хранивима животињског порекла (рибље брашно), боље се апсорбују него гвожђе из биљних хранива, која садрже, углавном, неорганске соли Fe.

Обим апсорпције гвожђа налази се под утицајем хелата, од којих неки (аскорбинска киселина или цистеин) повећавају апсорпцију, а други је инхибирају. Апсорпција Fe ометају и други двовалентни јони (Zn, Mn, Co), који конкуришу за заузимање места у мукози црева. Фосфати и фитати ремете апсорпцију Fe формирањем нерастворљивих соли Fe. Бакар има кључну улогу у искоришћавању Fe, пошто је Cu присутан у ензиму фероксидази, који олакшава ослобађање Fe из феритина у мукозним ћелијама црева.

Потребе у гвожђу и последице дефицита. Потребности одраслих животиња у гвожђу нису велике (25-40 ppm на бази суве материје оброка за преживаре, а 80 ppm у оброцима за свиње). Потребности су веће у следећим физиолошким стањима:

- веће потребе у Fe у веома младих животиња у периоду млечне исхране се јављају услед релативно мале резерве Fe при рађању, ниског нивоа Fe у млеку крава и крмача (0,5-1,0 ppm) и великог интензитета пораста на почетку живота. Резерве у неонаталне телади (нарочито у односу на резерве прасади) су довољне да спрече дефицит у Fe. У ствари, бледа боја, карактеристика добре телетине, изазвана је недостатком Fe.
- млечна исхрана изазива умерени дефицит Fe у организму телади и критичан у прасади, која су иначе веома осетљива на дефицит у Fe. Потребности у Fe у оброцима прасади износе око 125 ppm и 40 ppm за телад. Спољашни извори Fe морају бити обезбеђени само за прасад, орално или интрамускуларно, ради превенирања карактеристичних симптома дефицита (лош апетит, субнормални пораст и пролив).
- дозирање бременитим животињама једињења гвожђа, може се користити као начин за повећање нивоа хемоглобина у крви и депоновање Fe у организму новорођених животиња, али не долази до пораста нивоа Fe у млеку.
- потребе кокоши у Fe у периоду ношења јаја веома су високе, будући да једно јаје садржи 1 mg Fe. Међутим, уобичајени оброци за кокоши носиле покривају потребе у Fe и нема потребе за специфичним додацима Fe.

Анемија представља главни симптом недостатка Fe, до које долази при пражњењу депоа Fe у организму, тј. смањења броја црвених крвних зрнаца и смањеног садржаја хемоглобина у крви. До анемије може доћи услед поремећаја у производњи хемоглобина, због његове повећане разградње или губитка крви. Нпр. паразитарне инфекције у оваца које укључују велике губитке крви доводе до појаве анемије. Концентрација хемоглобина у крви 25% испод нормалног нивоа доводи до појаве анемије. Смањена отпорност на инфекције, последица је дефицита Fe. У току анемије долази до исцрпљивања резерви гвожђа из коштане сржи, слезине и јетре. Поред анемије, недостатак гвожђа манифестује се лошим порастом животиња,

појавом летаргије, бледим изгледом свих видљивих мукозних мембрана, повећаном величином срца, убрзаним дисањем и смањеном отпорношћу на различита обољења. По своме пореклу анемија може бити наследна, патолошка и нутритивна. Нутритивна анемија се може појавити у било које животно доба, мада је вероватнији њен развој у току периода млечне исхране, када је млеко, које је изузетно сиромашно у гвожђу, најважнија или једина компонента obroка. Обично се младунци сисара рађају са довољним резервама гвожђа за читав период млечне исхране, или барем до почетка конзумирања друге врсте хране. Међутим, прасад имају резерве гвожђа за само 3-4 дана. Пошто телад, ждребад и јагњад почињу да конзумирају траву или сено убрзо након рођења, у ових врста животиња не долази до појаве нутритивних проблема. Нутритивна анемија, као последица дефицита гвожђа, јавља се у праси ако је:

- храна мајке у току периода бременитости дефицитарна у гвожђу, доводи тако у новорођених животиња до недовољног депоновања гвожђа; исхрана животиња у лактацији нема ефекта, пошто овакав хранидбени третман не повећава садржај гвожђа у млеку;
- превремени порођај доводи до мањег депоновања гвожђа у организму него при нормалном порођају; садржај гвожђа у фетусу повећава се, углавном, у току последња три месеца гравидитета ;
- када је број новорођених младунаца ненормално висок; велико легло свиња доводи до смањеног снабдевања гвожђем сваког од младунаца.

Анемија изазвана дефицитом гвожђа у сисанчади може се превенирати исхраном или давањем ињекција гвожђа. Будући да новорођена прасад имају екстремно мале количине депонованог гвожђа у време рађања, конзумирају малу количину суве хране пре 3-4 недеље старости, неопходно им је давати гвожђе. Многи одгајивачи свиња користе гвожђе декстрин, једињење које се ињекцијама интрамускуларно даје прасадима у току прве недеље живота. У пракси, неки од одгајивача уз гвожђе декстрин дају и витамин цијанокобаламин (B_{12}).

Дефицит гвожђа у оваца и говеда може изазвати појаву изопаченог апетита (пица), сличну оној која се јавља при дефициту у фосфору. Ово стање карактерише диареја, губитак апетита за нормална хранива и анемија.

Извори гвожђа. Концентрована и кабаста хранива, начелно, садрже довољне количине Fe ради обезбеђења потреба животиња. Легуминозна хранива су богатија у Fe (200-400 ppm на бази суве материје) од грамина (око 40 ppm). Зрна житарица садрже 30-60 ppm, а уљане сачме од 100-200 ppm. Хранива животињског порекла, са изузетком млека, представљају богате изворе Fe.

Од неорганских извора најчешће се користе соли сулфата ($FeSO_4$), хлорида ($FeCl_3$), цитрата и фумарата, далеко боље од оксида и карбоната (табела 46). Обично већа растворљивост одређене соли гвожђа, повећава његово потенцијално искоришћавање у организму животиње.

БАКАР (Cu)

Због сличних својстава и заједничке функције у формирању хемоглобина, понекад се бакар и гвожђе разматрају заједно. Као и гвожђе, бакар се депонује у јетри. Док је Fe есенцијална компонента хемоглобина, Cu не представља део овог молекула. Заправо, његов однос према формирању хемоглобина је у помагању сазревања црвених крвних зрнаца и повећању њиховог времена преживљавања.

Као гвожђе и бакар учествује у одређеним оксидационо-редукционим ензимским системима ћелије. Ова улога, као компонента ензимских комплекса је вероватно, од већег значаја него његова улога у формирању хемоглобина. Поред ових функција, бакар учествује и у одржавању интегритета мијелинске опне која облаже нервна влакна, формирање костију и везивног ткива, формирање пигмента меланина у кожи и длаци преко његовог везивања заједно са молекулом тирозина, затим кератинизацији вуне, репродукцији и функционисању срца.

Функције бакра у организму животиње. Бакар је саставни део неколико ензима, као што су: *фероксидаза*, *моноамино оксидаза* и *тирозиназа*. Ензим фероксидаза, који садржи Cu , укључен је у искоришћавање Fe , пошто је неопходан за синтезу трансферина, транспортне форме за пренос и уградњу Fe у хемоглобин. Зато је Cu неопходан за искоришћавање Fe у синтези хемоглобина, а анемија постаје евидентна при недостатку Cu као и при дефициту Fe .

У животиња дефицитарних у Cu , смањена је активност ензима *амин оксидазе*, а колаген и еластин су смањени. Ово води смањењу стабилности и јачине колагена костију. У животиња са дефицитом у Cu , укупни поремећаји са спонтаним фрактурама и изразитим деформацијама се јављају у преживара, свиња и живине. Смањење у садржају дезмозина у еластину аорте, у пилића и свиња дефицитарних у Cu , доводи до поремећаја у еластичним ткивима аорте и појаве опасних руптура великих крвних судова.

Формирање мијелинске опне која омотава нерве је смањено при недостатку Cu , пошто неки од ензима који садрже Cu , као цитохром оксидаза и амин оксидаза, укључени су у синтезу липидних једињења мијелина, углавном холестерола. Нервни поремећаји у јагњаци, од мајки дефицитарних у Cu , карактеришу недостатак координације покрета и укочен, несигуран ход. Нека од телад долазе на свет парализована и убрзо затим угињавају. Такви случајеви *неонаталне атаксије* јављају се у различитим деловима света.

Недостатак пигментације и значајне промене у порасту и физичком изгледу длаке говеда и вуне оваца, обично се јављају при недостатку Cu . Овај механизам је везан за претварање тирозина у тамни пигмент *меланин*, који каталише тироминаза која садржи Cu .

Недостатак Cu има за последицу смањену набораност вунских влакана, која постају готово равна. Карактеристичне физичке особине вуне, укључујући коврцавост, зависе од дисулфидних мостова у два суседна цистеинска остатка.

Апсорпција, ефикасност коришћења и екскреција бакра. Опште узев, бакар се лоше апсорбује, тако да се од укупне количине унете храном, апсорбује и ретенира свега 5-10% Cu . Највећи део Cu у фецесу је неапсорбовани Cu хране. Део овога је пореклом из жучи, која представља најважнији пут за секрецију ендогеног Cu . Апсорпција Cu и потребе у овом минералу су под великим утицајем других компонената хране. Апсорпција Cu значајно је ослабљена када су кабаста хранива контаминирана са CaCO_3 . Молибден и сулфати, такође, имају негативан утицај на искоришћавање Cu у преживара.

Cu се апсорбује из почетног дела танких црева. У крви овај елемент је присутан у готово истим количинама у плазми и црвеним крвним зрнцима. Приближно 80% Cu у крвној плазми се јавља као *церулоплазмин*, α -глобулин-бакарни комплекс. Преостали део је лабаво везан за албумин крви. Око 60% Cu у црвеним крвним зрнцима је присутно као *еритрокуприн*, једињење синтетизовано у коштаном сржи.

Само око 4% конзумираног бакра ослобађа се из организма урином. Фецес садржи неапсорбовани бакар хране, излучен у црева са секретима жучи и део који је изгубљен директно преко зида црева. Обим екскреције бакра се повећава при високим нивоима кадмијума, цинка или комбинације великих количина конзумираног молибдена и сулфата.

Потребе животиња у бакру. Дневне потребе крава музара у бакру износе 10 до 20 mg/kg суве материје оброка, а за товну јунад и овце износе 5 mg/kg суве материје оброка. Ове вредности знатно су веће у присуству молибдена и сулфата. Недостатак Cu у преживара на паши, доста је распрострањен. Овај се проблем може решити употребом ђубрива која садрже Cu, употребом блокова за лизање, додавањем оброку животиња минералних додатака који садрже соли Cu, давањем ињекција са органским комплексима бакра.

Свиње и живина захтевају 5-6 ppm Cu у храни, али се дефицит у бакру не јавља у непреживара, који се хране оброцима састављеним од природних хранива. Оброцима свиња могу се додавати велике дозе Cu (250 ppm), ради повећања прираста и пораста ефикасности искоришћавања хране.

Симптоми недостатка бакра. Симптоми недостатка бакра значајно се разликују у зависности од врсте животиња. Анемија животиња представља општи симптом, а смањен пораст, ненормалан развој костију, депигментација длаке, перја и вуне, неправилна кератинизација вуне, фиброза миокарда и пролив. У јагњади и телаци јавља се ензоотска атаксија. Некоординисани покрети задњих ногу, укочен ход, са заносењем задњег дела тела, су карактеристични знаци недостатка бакра, до кога долази у првих неколико недеља након рођења. Неке од животиња потпуно се парализују и не могу се кретати. Нивои бакра обично су ниски у крви мајке и оболелог младунчета. Дегенеративне промене присутне су на мозгу и кичменој мождини. У старијих животиња депигментација длаке и вуне је најранији и најсензибилнији показатељ недостатка бакра у оваца, говеда (слика 36), коза, зечева и кокоши, изузев свиња.

Дефицит бакра у оваца доводи до значајних промена на вуни. Вунска влакна постају поступно мање кератинизирана и зато мање наборана, величина пораста је смањена, а црна боја мења се у белу. Дефицит бакра смањује плодност говеда слабењем и одлагањем еструса. Такође, утврђена је руптура аорте у пилића изазвана дефицитом у бакру. Некако у исто време, је утврђено постојање кардиоваскуларних промена у свиња дефицитарних у бакру, што је имало за последицу руптуре на великим крвним судовима. У оба случаја, постоје хистолошки докази о ненормалностима у еластичним мембранама аорте и коронарних и пулмонарних артерија.

Тровање бакром. Свиње могу толерисати велике дозе Cu (250 ppm у оброку) за стимулисање пораста. Толерантност према Cu значајно варира између различитих врста животиња. Свиње су високо толерантне, говеда знатно мање, док су овце нарочито осетљиве на токсичност бакра. Када конзумирају сувишне количине бакра, говеда акумулирају велике количине овог елемента у јетри. До појаве симптома тровања долази услед ослобађања великих количина Cu из јетре у крв, доводећи тако до хемолизе. Хронично тровање бакром се јавља у пашних животиња у Аустралији, услед узимања сувишних количина Cu са кабасти хранивима или при нормалном узимању Cu (до 20 ppm), заједно са веома ниским нивоима молибдена (0,1-0,2 ppm). Конзумирање отровних биљака, као што је

Heliotropium europaeum, може оштетити јетру и учинити је осетљивијом на акумулацију Cu.

Мада је бакар есенцијалан за нормално функционисање организма, конзумирање 100 mg дневно од стране одрасле животиње је токсично, а конзумирање 50 mg на дан доводи до поремећаја у бубрезима. Додавање Мо оброцима богатим у Cu, спречава могуће тровање бакром. Због тога је очигледно да су бакар и молибден биолошки антагонисти, а да је однос Cu:Мо у оброку метаболички значајан. До тровања бакром може доћи и код свиња које се хране оброцима који садрже више од 250 mg бакра. Повећано конзумирање цинка и гвожђа ће пружити заштиту од оваквог тровања.



Слика 36а. Крава са дефицитом бакра (губљење длаке у печатима).

Слика 36б. Иста јединка након терапије бакром.

(https://projects.ncsu.edu/project/swine_extension/nutrition/nutritionslides/slides.htm)

КОБАЛТ (Co)

Кобалт је неоргански елемент који је значајан, углавном, у исхрани преживара. Првобитна истраживања су указивала на потребу у кобалту за одржавање нормалне активности микрофлоре у дигестивном тракту. Кобалт је интегрални део витамина B₁₂ и користи се у синтези овог витамина од стране микроорганизама румена.

Дефицит кобалта у говеда има за последицу дугу и грубу длаку, љускање коже, одсуство еструса, абортусе, ниску млечност, губитак апетита, брз губитак телесне масе и појаву анемије. Губитак апетита и брзо оздрављење, након додавања кобалта оброку животиња, представља основни дијагностички критеријум за одређивање дефицита у крава музара.

При преласку преживара на храну (пашу) дефицитарну у кобалту, за појаву првих симптома дефицита потребно је неколико месеци, односно након исцрпљивања телесних резерви овог елемента у јетри и бубрезима. Када се исцрпе резерве долази постепено до опадања апетита, а затим губитка телесне масе, пице, јаке анемије и, коначно, угинућа животиње. Ако је дефицит мањег интензитета јавља се нездрав изглед животиње, стање које се тешко дијагностикује. Вероватноћа за појаву симптома дефицита постоји када су нивои кобалта у кабастој храни испод 0,1 mg/kg СМ. У условима паше јагњад су најосетљивија на дефицит кобалта, а затим одрасле овце, телад и одрасла говеда.

Преживари имају веће потребе у кобалту од непреживара, пошто се извесне количине овог елемента расипају и губе у току микробиолошке синтезе органских једињења, без физиолошке активности у телесним ткивима животиње. Штавише, витамин B₁₂ се лоше апсорбује из дигестивног тракта преживара, тако да је његова

доступност у неким случајевима само 3%. Преживари имају додатне потребе у овом витамину, због његовог присуства у метаболизму пропионске киселине. Има доказа да микроорганизми у цревима непреживара, такође, синтетизују витамин B₁₂, мада је синтеза у свиња и живине недовољна за обезбеђење њихових потреба. Уобичајена је пракса укључивања у оброке свиња и живине извесних количина неких од анималних хранива, богатих у витамину B₁₂, што је предност у односу на додавање соли кобалта.

Поред значаја кобалта као компоненте витамина B₁₂, овај елемент има и друге функције у организму животиње, као активирајући јон у одређеним ензимским реакцијама.

Метаболизам кобалта у преживара. Поремећаји настали услед недостатка Co, последица су дефицита витамина B₁₂. Када је у obroку неадекватна количина Co, у том случају микроорганизми немају могућност синтезе довољних количина витамина B₁₂, због чега животиње показују знаке недостатка. Преживари поседују малу природну способност за коришћење кобалта из хране. У огледима са радиоактивним кобалтом 80% унетог Co излучено је фецесом.

Микроорганизми румена претварају велики део апсорбованог кобалта у физиолошки неактивна једињења, слична витамину B₁₂, која не могу апсорбовати жиотиње. Само 3% од унетог кобалта трансформише се у витамин B₁₂, који затим крвљу доспева у телесна ткива. Ниска ефикасност трансформације кобалта у витамин обрнуто је пропорционална количини унетог кобалта, а у дефицитарних животиња расте до 13,5%.

Витамин B₁₂ укључен је у метаболизам пропионске киселине, настале ферментацијом у румену. Метаболизам пропионске киселине одвија се претежно у јетри, а смањен је у преживара дефицитарних у кобалту пошто је коензим форма витамина B₁₂ неопходна у трансформацији *метилмалоната* у *сукцинат*, као интермедијарну фазу у метаболизму пропионата.

Последице недостатка кобалта у исхрани преживара. Изразите форме дефицита јављају се у регионима са недовољном количином доступног кобалта у земљишту, као што су Аустралија, Велика Британија и Холандија. Акутне форме дефицита у кобалту карактеришу неспецифични поремећаји, као што су смањено узимање хране, губитак живе масе, смањен пораст, слабљење скелетних мишића, мршављење, масна дегенерација јетре итд. Клиничке манифестације дефицита кобалта сличне су знацима опште потхрањености и нису довољно специфичне за поуздану дијагнозу. Ниво витамина B₁₂ у јетри и крви и реакције животиња на кобалт, коришћене су као биохемијски поступак у дијагнози дефицита кобалта (слика 37). Јетра у здравих оваца и говеда обично садржи 0,2-0,3 ppm.

У храни непреживара неопходно је присуство витамина B₁₂, због недовољне микробиолошке синтезе овог витамина у цревима. Због тога, кобалт не може заменити витамин B₁₂ у њиховој храни. У исхрани говеда, оваца или коза оброцима дефицитарним у кобалту, најчешће је потребно неколико месеци за потпуно исцрпљивање резерви орзанизма у витамину B₁₂. Животиња постепено губи апетит, а потом и телесну масу. После тога, долази до наглог трошења мишићне масе, губитка апетита, изражене анемије, која се завршава угинућем животиње. Стање се може превенирати или ублажити додавањем витамина B₁₂ или кобалта животињама.



Слика 37. Овца са дефицитом кобалта (лево) и овца третирана витамином B_{12} (десно)
(<https://www.agric.wa.gov.au/livestock-biosecurity/cobalt-deficiency-sheep-and-cattle>).

Потребе животиња у кобалту. Критичан ниво кобалта, испод којег долази до појаве симптома недостатка у говеда и оваца, јесте 0,07 ppm у сувој материји оброка. Товна јунад и јагњад знатно су подложнија појави дефицита. До појаве симптома долази при нивоу Со у храни од 0,10 ppm. Потребе животиња у кобалту износе свега 1% од потреба у бакру. У случају дефицита у кобалту оброцима животиња се могу додавати соли кобалта. Исто тако, дефицит у кобалту у преживара се може ублажити увођењем малих пелета са кобалт оксидом у румен преживара, ради релативно стабилног снабдевања овим елементом.

МАНГАН (Mn)

Манган се у организму животиња, претежно налази у костима, мада су значајне количине мангана присутне у јетри, мишићима и кожи. Још је почетком прошлог века утврђено да је пероза у живине последица недостатка мангана у оброку. Манган је распрострањен у читавом организму животиње. Укупна количина мангана је много мања од других елемената и износи само 20% од садржаја бакра и 1% од количине цинка. Утврђено је да концентрација мангана у земљишту прелази 15 пута концентрацију цинка, док је концентрација ова два елемента у биљкама готово иста. Ово је резултат мале апсорпционе способности биљака и животиња. Манган се не налази ни у једном органу у већој концентрацији, изузев јетре, костију, бубрега и панкреаса (1-3 ppm свежег ткива). У скелетним мишићима концентрација мангана је нижа (до 0,2 ppm).

Физиолошке функције мангана. Као компонента различитих ензима, манган врши специфичне биохемијске функције у организму. Манган је интегрални део ензима који врше синтезу хондроитин сулфата, компоненте мукополисахарида, присутних у органском матриксу костију. Манган је потребан у обе фазе биосинтезе. Пошто су мукополисахариди витални структурни састојци органске материје костију, ово је објашњење за грешке у костима, до којих долази при дефициту мангана. Mn је компонента ензима *пируват карбоксилазе* и укључен је у метаболизам угљених хидрата и масти. Неопходан за биосинтезу холестерола, а, такође, стимулише активност аргиназе и може играти улогу регулатора у производњи уреје.

Апсорпција и секреција мангана. Манган се веома лоше апсорбује из гастроинтестиналног тракта (5-10%), а вишак Са и Р у оброку додатно смањује

апсорпцију мангана. Такође, калцијум фосфат наталожен у цревима поседује способност апсорпције Mn. Главни пут екскреције Mn је преко јетре у жуч. Екскреција се, такође, одвија преко панкреасног сока у танка црева. Концентрација мангана у различитим телесним ткивима је прилично стабилна у нормалним условима. Манган се, дакле, излучује преко фецеса, а укључује и манган ендогеног порекла, који лучи жуч и панкреасни сок.

Симптоми недостатка мангана. Недостатак мангана утврђен је у живине, свиња и преживара. Последице дефицита у мангану укључују деформације костију, успорен раст, поремећаје репродуктивних функција и абнормалности у новорођених животиња (слика 38).

Недостатак мангана у оброку пилића у порасту, доводи до појаве *перозе*, деформације костију ногу. Перозу карактеришу повећани и деформисани скочни зглобови, уврнуте и повијене тибије, задебљале и скраћене дуге кости. Манган није једини фактор који изазива појаву перозе. И други фактори, као што су холин или биотин, могу изазвати слично стање. Поред мангана, холин је неопходан за превенирање перозе у живине. Вишак калцијума и фосфора у храни стимулишу појаву перозе, највероватније због смањене апсорпције мангана.



Слика 38. Изглед телета дефицитарног у мангану
(http://vetbook.org/wiki/cow/index.php?title=Congenital_chondrodystrophy).

Мањак мангана у храни приплодних кокоши, изазива озбиљне поремећаје на ембрионима пилића, познате као *хондродистрофија*. Касније стање карактеришу скраћена и задебљала крила и ноге ембриона, повијен кљун и висока смртност пилића. Лоше формирана и танка љуска јаја, последица су смањеног садржаја муколипосахарида у матриксу, због смањеног снабдевања са Mn. Деформације скелета свиња, због дефицита Mn, испољавају се у хромости и увећаним скочним зглобовима, са кривим и скраћеним ногама. Оброци крава дефицитарни у Mn, изазивају одлагање еструса и концепције, и повећан број абортуса.

Потребе животиња у мангану. Потребе живине у мангану су веће него осталих врста животиња. Стога садржај мангана у оброку живине треба да износи до 50 ppm. Ово се ефикасно може постићи додавањем соли мангана. Слично велике потребе имају и високопроизводне музне краве. У оброцима свиња у порасту, количина мангана треба да износи 40 ppm. Већина хранива не садрже довољне количине мангана. Богати извори су пшеничне (114 ppm) и мекиње ражи (200 ppm), пошто омотач зрна житарица садржи велике количине мангана. Дефицит мангана у живине се може превенирати додавањем соли мангана у минералне додатке или смеше концентрата. Овако додати манган, лако се преноси у јаје и служи за развој

ембриона пилета. Неоргански извори мангана попут оксида, хлорида, сулфата и карбоната су веома доступни извори мангана у оброцима живине, али и осталих врста животиња (табела 35).

Садржај мангана у кабастим хранивима знатно варира. Међутим, садржај мангана у одређеним оброцима за преживаре не изазива дефицит или вишак овог елемента.

ЦИНК (Zn)

Највећи део цинка у организму животиње налази се у јетри, мишићима, мушким полним органима, костима, епидермалним ткивима и крви, мада се брз метаболизам цинка, такође, одвија у панкреасу, бубрезима и хипофизи.

Пошто многе врсте биљака садрже цинк, а животиње захтевају веома мале количине овог елемента, ретко када постоји било каква опасност од дефицита под нормалним условима исхране. Симптоми дефицита укључују успорен пораст, погоршан репродуктивни развој и функцију, крупне лезије на епителном ткиву и смањен пораст костију. Цинк може лечити или превенирати паракератозу у свиња, обољење коже од значајног економског интереса. Потребан је за пораст живине, њихово оперјавање и развој скелета. Главно место апсорпције цинка је у дуоденуму, а излучује се претежно фецесом. Апсорпција је повећана када је конзумирање цинка мало, а опада са порастом конзумирања. Вишак калцијума, бакра и фитинске киселине у храни животиња, инхибирају апсорпцију цинка. Кадмијум је вероватни антимерит цинка.

Дистрибуција и функције цинка у организму животиње. Цинк је у организму животиња прилично равномерно распоређен. Просечан садржај цинка у организму износи 30 ppm. Већа концентрација цинка присутна је у костима, јетри, бубрезима, кожи, длаци и вуни животиња, а нарочито у ткивима ока и мушким полним органима. Цинк је интегрални састојак различитих ензима, укључујући лактат, малат и глутамат дехидрогеназу, алкалну фосфатазу, карбоксипептидазу А и В и карбон анхидразу. Цинк као састојак RNA и DNA полимераза је укључен у синтезу протеина. Представља кофактор у неколико различитих ензимских система. Због тога, његова распрострањеност у организму је у непосредној вези са дистрибуцијом ензима који га садрже. Висока концентрација цинка у панкреасу, везана је за присуство ензима за варење који садрже цинк и везе цинка за инсулин.

Потребе и апсорпција цинка. Највећи број obroка обезбеђује довољне количине цинка за потребе животиња (30-40 ppm у сувој материји), а већи додатак је потребан код високопроизводних музних крава где је пожељна концентрација цинка од 50-60 ppm у сувој материји. Од укупне количине цинка у хранивима, апсорбује се само 15-30% у дигестивном тракту. Највећи део цинка апсорбује се у танким цревима.

Апсорпцију цинка смањују јони Са и Си и тако повећавају знаке недостатка овог елемента. При додавању 250 ppm Си, као стимулатор пораста свиња, потребно је додати и 150 ppm Zn. Апсорпција Zn у непреживара је смањена у присуству фитинске киселине из сојине сачме или зрна кукуруза. Фитати везују Zn у форму из које се тешко ослобађа. Доступност Zn за апсорпцију повећава се аутоклавирањем или третирањем са синтетичким једињењем етилендиамин-тетрасирћетном киселином (EDTA), која ствара веома растворљиве и лако доступне хелате са цинком. Још средином прошлог века је саопштено да постоји могућност лечења

или превенирања појаве паракератозе у свиња ако се оне хране оброком на бази зрна кукуруза и сојине сачме уз додатак цинка. Овиме је учињен први корак не само у исхрани цинком, већ и објашњено како фитат и калцијум утичу на доступност овог елемента. Фитат се у хранивима јавља заједно са протеином, који може делимично објаснити висок садржај фитата у зрну соје, сезама и уљане репице. Анјонски карактер фитата чини га идеалним за формирање комплекса са минералним елементима, нарочито прелазним елементима као што су Zn, Fe и Mn. Растворљивост ових комплекса варира у зависности од висине рН и концентрације јона калцијума. Калцијум помаже комплексирање цинка у фитат. При томе, цинк комплекс је најнерастворљивији при вредности рН 6. Утицај рН на растворљивост је нарочито значајна због тога што рН 6 је близак висини рН у дуоденуму и почетном делу јејунума, подручју интестиналног тракта где цинк и многи тешки метали бивају апсорбовани. Треба имати у виду да се комплекси цинк-фитат или калцијум-цинк-фитат не апсорбују.

Симптоми дефицита цинка. Ензими који садрже цинк, укључени су у процесе метаболизма протеина и деобе ћелија. Дефицит цинка изазива: субнормалан пораст, смањено конзумирање и лошу конверзију хране, погоршане репродуктивне перформансе и деформације на кожи и њеним израслима (длака, вуна и перје).

Лезије на кожи веома су видљив знак дефицита у цинку. У свиња дерматитис, познат под називом *паракератоза*, представља важно обољење изазвано дефицитом цинка, а јавља се у практичним условима исхране. Задебљање или хиперкератинизација епителних ћелија, најчешће се јављају у пределу очију и уста и на доњим деловима ногу свиња (слика 39). Свиње хранене оброцима на бази кукуруза и соје су често показивале знаке паракератозе. Данас се појава овог обољења успешно превенира додавањем цинка оброцима свиња.



Слика 39. Паракератоза, као последица недостатка цинка у храни свиња.
(https://www.askjpc.org/vspo/do_gross.php?pic_series=im18.jpg)

Преживари напасани на земљиштима сиромашним у цинку, показују знаке паракератозе, тј. оштећење епидерма ткива и отворене лезије на кожи, што чини животиње подложнијим инфекцијама. Код преживара је цинк важан и за нормално здравље папака, а недостатак цинка негативно утиче на сперматогенезу. У младих пилића симптоми недостатка цинка укључују перутање коже, слабо оперјавање и коврцање перја. Опадање производње јаја, смањено лежење и погоршан развој ембриона пилића, јављају се при дефициту кокоши у цинку. При недостатку цинка

у ембриону пилића, развој скелета је погоршан, дуге кости постају краће и дебље. Концентрација цинка у костима свих врста животиња дефицитарних у цинку је испод нормалне.

ЈОД (I)

Мада је јод широко распрострањен у телесним ткивима и секретима, једина његова позната улога је синтеза два хормона: тријодотиронина и тетрајодотиронина (тироксина), кога производи тиреоидна (штитна) жлезда. Око 80% јода у организму животиње присутно је у тиреоидној жлезди, која чини само 0,2% укупне телесне масе. Из тиреоидне жлезде хормон тироксин се транспортује крвљу до различитих ткива, где регулише основне процесе метаболизма енергије у ћелијама. Нормалан развој младих животиња, добра плодност и ефикасна производња, зависе од нормалног лучења тирокина. Ако храна не садржи довољне количине јода или састојака који ометају коришћење јода од стране штитне жлезде, производња животиња опада. Најважнији индикатор дефицита је увећана штитна жлезда, позната као гушавост или струма.

Дистрибуција јода. Количина јода у организму животиња изузетно је мала (0,4-0,6 mg/kg телесне масе), стим да око 2/3 укупне количине јода се налази у тиреоидној жлезди. Преостали део распоређен је у читавом организму. Гликопротеин *тироглобулин* је најважнија форма у којој се депонује тиреоидни хормон. Највећи део јода у крви животиња јавља се као тироксин, везан за протеине плазме и назива се протеински везани јод. Тироксин је најраспрострањенија активна форма секрета тиреоидне жлезде. Садржај јода у води и хранивима зависи од садржаја и доступности јода у земљишту. На земљиштима сиромашним у јоду, биљке садрже мале количине јода, те у таквим регионима долази до развоја ендемске *гушавости* у људи и животиња.

Апсорпција јода. Јод се апсорбује, углавном, у танким цревима и у форми јодида. Око 30% се прво усваја од стране ћелија тиреоиде, док се остатак усваја од стране бубрега и излучује урином. Значајна количина јода бива прихваћена од стране пљувачних жлезда, али јодид у пљувачци остаје у неорганској форми и обично се у потпуности реапсорбује, тако да је губитак јода овим путем мали. Јодид усвојен од стране тиреоиде брзо се оксидише у јод, који се затим комбинује са аминокиселином тирозином ради формирања таквих једињења као што су *монојодотирозин* и *дијодотирозин*. Молекули јодираног тирокина се сједињују за формирање тирокина или тријодотиронина. Тријодотиронин је активнија форма хормона од тирокина, али је утврђен у релативно малим количинама у крви.

Међу микроелементима, јод је, свакако, јединствен по лакоћи његовог трансфера у млечну жлезду. Резултат овога је чињеница да је количина јода у млеку одређена количином јода која је конзумирана храном. Јод се излучује углавном урином, мада се мале количине губе фецесом и знојем.

Функције и дефицит јода. Основна функција јода је контрола обима оксидације у ћелијама организма. Хормони тиреоиде убрзавају реакције у ћелијама готово читавог организма, доводећи тако до повећаног конзумирања кисеоника и пораста обима базалног метаболизма. Због тога, дисфункција тирокина има велики утицај на организам животиње. Ако храна не садржи довољне количине јода, производња тирокина опада.

Промене на кожи сисара или перју птица, најчешће су карактеристике дефицита у јоду. Прасад и телад, од мајки дефицитарних у јоду, најчешће се рађају слаба, без длаке, са дебелим и меснатом кожом. Смањена количина и квалитет вуне, могу бити везани за гушавост.

При недостатку довољне количине тироксина, тиреоидеа се, као последица деловања тиреотропног хормона из предњег режња хипофизе, увећава што се назива *гушавост* (слика 40). Појава гушавости може означавати недовољну количину јода у храни, дефицит јода (инхибиција усвајања од стране тиреоидеје) условљен је присуством гоитрогених материја у храни животиња или метаболичких грешака у синтези тироксина, изазваних одређеним типовима гоитрогених материја. Због тога што потребе у јоду, заправо тироксину, варирају у зависности од активности телесних функција које ове контролишу, гушавост се обично развија у периодима када је обим метаболизма висок, као што је то случај у току пубертета и гравидности. Гушавост се јавља у новорођених животиња, углавном, као последица недовољне количине јода у храни гравидних животиња. Други симптоми дефицита укључују губитак длаке и дебелу меснату кожу у телади и свиња и отечену гушу (врат) у телади. Хормон тиреоидеје битан је за нормалан пораст и репродукцију у свих сисара и живине.

Недостатак јода представља регионални проблем. Географска подручја са ниским садржајем јода у земљишту, имају за последицу производњу биљака са ниским садржајем овог елемента. Гушавост је, такође, присутна и у подручјима где вода за пиће садржи мало јода. Превенирање појаве гушавости, у подручјима дефицитарним у јоду, успешно се може обавити додавањем оброку животиња неорганске форме калијум или натријум јодида.

Гоитрогене материје. Гоитрогени супстанце су способне да изазову гушавост поремећајем синтезе тиреоидног хормона. Још почетком 20-тог века, истраживачи су утврдили присуство гушавости у кунића, храњених храном која се састојала, углавном од купуса, а да се ово стање са успехом може превенирати додавањем хране са јодом. Од тада је утврђено да велики број биљака, укључујући практично све врсте из фамилије круцифера (крсташица, купусњача) имају гоитрогена својства.

Бржи развој индустрије за прераду семена уљане репице у бројним државама, спречен је откривањем постојања гоитрогених активности семена биљака из фамилије *Brassica*, које се могу само делимично контролисати додавањем јода.

Гоитрогени су коришћени у оброцима животиња због њихове способности унапређења това. Гоитрогени, који се користе за ове сврхе, укључују *метил* и *пропил тиоурацил*, *карбимазол* и *метимазол*.

Када се хранива са гоитрогеним супстанцама (купусњаче, уљане репице и др.) конзумирају у нормалним количинама и кувају у води, много је мања вероватноћа за појаву гушавости, пошто процес кувања елиминише ензим који ослобађа активни гоитроген из његовог неактивног прекурсора.



Слика 40. Гушавост у овце, као знак недостатка јода у храни
(<http://www.flockandherd.net.au/sheep/reader/goitre-congenital.html>).

Обезбеђење животиња јодом. Додавање јода дефицитарним оброцима, који садрже мање од 0,04 ppm у сувој материји, изводи се употребом блокова за лизање који садрже калијум јодид или уношењем јодиране соли (која садржи 0,01% калијум јодида) у минералне предсмеше или смеше концентрата. Блокови за лизање који садрже калијум јодид, подвргнути су значајним губицима због испаравања или испирањем површинског слоја на високим температурама и повећаној влажности ваздуха. Стога се препоручује употреба знатно стабилнијег калијум јодата уместо калијум јодида. Треба водити рачуна да се не унесу сувишне количине јода у организам животиње. Акутно деловање великих доза јодида, укључује инхибицију механизма транспорта јона јодида, затим синтезу хормона тиреоиде и појаву гушавости.

СЕЛЕН (Se)

Селен је један од елемената за које је доказано да спада у групу есенцијалних микроелемената. Познато је да селен има одређене функције првобитно приписане витамину Е. Функције које су приписане селену укључују: делује као неспецифични антиоксиданс и штити животиње од пероксидације у ткивима и мембранама ћелија; учествује у биосинтези убихинона (коензим Q); учествује у транспорту водоника у респираторном ланцу; утиче на апсорпцију и ретенцију витамина Е и триглицерида.

Значај селена у исхрани, као есенцијалног елемента, утврђен је тек педесетих година прошлог века, мада је његово токсично деловање идентификовано још средином деветнаестог века. Користан ниво селена за животиње је мањи од 0,1 ppm (код музних крава 0,3 ppm) у сувој материји, док су нивои од 3-5 ppm токсични. Нивои селена у земљишту варирају у широком опсегу у различитим регионима света, при чему неки од њих пате од вишка, а други од мањка овог елемента.

Биохемијске функције селена. Следеће две функције селена поуздано су доказане:

- селен је саставни део *глутатион пероксидазе* (GSH-Ph), ензима крви који катализује редукцију водоник пероксидазе и пероксида формираних од масних киселина. Ензим глутатион пероксидаза испољава своју активност разградњом

пероксида, пре него што ови нападну ћелијске мембране, док витамин Е делује превенирањем формирања ових пероксида. Глутатион пероксидаза се јавља у крви и многим органима, а његова активност нарочито је висока у јетри и еритроцитима. Активност овог ензима у крвој плазми може се користити као поуздан индикатор за оцену статуса селена у организму и налази се у одређеној корелацији са унетим селеном. Селен је потребан за нормалан интегритет и функцију панкреаса. Због тога, преко његовог утицаја на производњу панкреасне липазе, селен је укључен у нормалну апсорпцију липида и витамина Е. У одсуству Se, долази до дегенерације панкреаса и одсуства производње липазе, што има за последицу мањак моноглицерида, који су неопходни за формирање мицела жучних соли, потребних за апсорпцију витамина Е.

Органска и неорганска форма селена лако се апсорбују од стране већине животиња. После апсорпције, вишак селена у односу на потребе за формирање глутатион пероксидазе и других ензима, обично бива метилован до триметил селенита и излучен из организма. Међутим, када су количине присутне у организму тако велике да ове не могу бити трансформисане у триметил форму, диметил селенит као испарљиво једињење се излучује дисањем преко плућа. Ово једињење ослобађа мирис белог лука приликом дисања, као карактеристичан знак тровања селеном.

Симптоми недостатка селена. Симптоми недостатка селена значајно се разликују у зависности од врсте животиња. Унутар исте врсте, симптоми зависе од старости животиње и хранидног стања у коме се јавља дефицит. Међутим, уопштено се може рећи да при недостатку селена или витамина Е, долази до следећих метаболичких поремећаја у животиња: *нутритивне мишићне дистрофије*, *Mulberry обољења оваца*, *ексудативне дијатезе* и *панкреасне фиброзе*. Ова обољења се могу превенирати додавањем Se или витамина Е.

Нутритивна мишићна дистрофија (NMD) или *бела болест избразданих мишића*, јавља се у јагњади, телади и пилића. Болест се најчешће јавља у јагњади и телади, одгајених у регионима дефицитарним у селену (слика 41). Животиње са белим обољењем мишића имају беле бразде и дегенерисане мишиће. Последица дегенерације мишића је укоченост и тешкоће у кретању. NMD карактерише абнормално низак ниво селена и глутатион пероксидазе у крви и ткивима животиња. Ако је срчани мишић оштећен, може доћи до изненадне смрти. Болест белих мишића се јавља у случајевима када животиње на паши узимају храну која садржи мање од 0,04 ppm селена и добијају додатке који не садрже адекватне количине витамина Е или селена. Потребе ових животиња у селену износе 0,06 ppm у оброку састављеном од кабастих хранива.

Болест *ексудативна дијатеза* у пилића, храњених оброцима дефицитарним у селену и витамину Е, карактерише појава едема, тј. субкутана акумулација течности у грудима животиња. Течност настаје повећањем пропустљивости капилара зидова. У одсуству адекватних количина селена и глутатион пероксидазе, капилари зидова трпе оксидативно оштећење. Ексудативна дијатеза се у великој мери може лечити или превенирати додавањем витамина Е или селена.

Изразит дефицит селена, чак и у присуству довољних количина витамина Е у оброку, доводи до атрофије панкреаса пилића, поред лошег пораста и оперјавања. Панкреас представља први орган на који дефицит селена испољава своје последице у пилића. Атрофија панкреаса праћена је смањењем апсорпције масти и витамина Е. Свиње дефицитарне у селену испољавају мишићну дистрофију, некрозу јетре, а повремено и ексудативну дијатезу.



Слика 41. Изглед телета старог месец дана са недостатком селена (<http://www.nadis.org.uk/bulletins/trace-element-deficiency-in-cattle.aspx>).

У свих врста животиња, недостатак селена доводи до смањења репродуктивних перформанси у женских и мушких животиња. У живине долази до изразитог смањења производње и лежења оплођених јаја. Оброци дефицитарни у селену, могу довести до неплодности оваца због раног угињавања ембриона, а у крава музара услед задржавања плаценте.

Потребе и извори селена. Потребе животиња у селену варирају у зависности од форме унетог селена, критеријума који се користе за задовољење потреба и других компонената оброка, а нарочито нивоа витамина Е. Препоручене дозе селена за већину врста животиња износе 0,1 ppm, за ћурке 0,2 ppm, а за музне краве и до 0,3 ppm.

Количина селена у храни зависи од његове количине у земљишту. Хранива анималног порекла и производи риба обично садрже прилично високе нивое селена. Међутим, селен присутан у овим производима обично није тако доступан за моногастричне животиње, као селен из биљних хранива. Селен из чистих једињења, као што су селенит и селенат, веома је доступан животињама при додавању њиховим оброцима. Ове неорганске форме селена представљају селенове аналоге сулфата и сулфита.

Концентрација селена у концентрованим, а нарочито у кабасти хранивима, показује значајна варирања, стим да је пивски троп по правилу добар извор селена. Доминантне форме селена у хранивима су селенометионин и селеноцистеин, селено аналози метионина и цистина. У преживара велики део унетог селена бива уграђен у ове аналоге селена. Они бивају апсорбовани и депоновани у телесним ткивима у форми селеноаминокиселина.

Додавање селена се може вршити ињекцијама или орално солима селена, блокова за лизање са малим количинама соли селена или употребом хранива, добијених на земљишту богатом у селену.

Тровање селеном. Нивои селена у оброку од 10-20 ppm су токсични за већину врста животиња. Разлика између потребних количина (око 0,1 ppm) и токсичних нивоа (3-5 ppm) селена је веома мала и износи око 20 пута. До узимања повећаних количина селена, који може бити штетан, долази при конзумирању кабасти хранива са високом концентрацијом селена, произведених на земљиштима са сувише високим нивоима селена. Земљишта која садрже више од 0,5 ppm потенцијално су опасна за животиње, пошто биљке расле на оваквим земљиштима могу да садрже више од 4 ppm селена.

Семе неких биљака из фамилије композита (звездан), акумулира 400-800 ppm, па се овакве биљке називају *биљке индикатори*. Овакве биљке се могу користити за идентификовање земљишта са високим садржајем селена. Биљке индикатори имају способност апсорпције Se из земљишта у којима је овај присутан у форми која је релативно недоступна за већину биљака које служе као кабаста хранива. Овакве биљке играју веома важну улогу у настајању хроничног тровања животиња на паши јер изумирањем, враћају Se земљишту у органским формама, које су доступне другим врстама биљака.

Алкална болест и *blind staggers* (болест коња, говеда и свиња изазвана конзумирањем сувишних количина селена), представљају хроничне и акутне форме тровања селеном. Симптоми хроничног стања (јављају се услед дуготрајног конзумирања хранива која садрже 5-40 ppm) су лењост, мршавост, наkosten изглед, ољуштена копита и папци и ерозија зглобова дугих костију што доводи до хромости животиња. Опадање репродуктивних способности и успорен пораст представљају најважније економске последице хроничног тровања селеном. У случајевима акутног тровања селеном, при конзумирању одређених количина биљака индикатора, долази у животиња до појаве слепила, стомачних болова, одређеног интензитета парализе и, коначно, угинућа, услед прекида дисања.

За превенирање токсичности селена препоручују се следећи поступци: додавање сулфата земљишту у циљу смањења усвајања селена од стране биљака и додавање одређених материја храни (сулфата, повећаних нивоа протеина, а нарочито у форми ланене сачме, арсенита или органских арсенских једињења) у циљу смањења апсорпције Se или повећања екскреције, чиме се ограничава његово акумулирање у телесним ткивима. Међутим, могућност примене ових поступака је ограничена.

Оброци богати у протеинима обезбеђују извесну заштиту против тровања селеном, као и оброци са високим учешћем сулфата. Од већег је значаја чињеница да мала количина арсена у води за пиће (5 ppm) превенира тровање са селеном.

Табела 46. Садржај микроелемената у најзначајнијим хранивима (mg/kg) (NRC, 1996).

Храниво	Co	Cu	I	Fe	Mn	Se	Zn
Детелина, црвена, сено	0,16	11,00	0,25	238,0	108,0	0,00	17,0
Јечам зрно, лако	0,19	8,60	0,05	90,00	18,1	0,18	44,4
Јечам зрно, тешко	0,35	5,30	0,05	59,0	18,3	0,18	13,0
Кукуруз, зрно, суво	0,43	2,50	0,00	30,0	5,8	0,00	0,00
Кукуруз, силажа, 35% зрна	0,10	9,20	0,00	180,0	41,1	0,00	21,2
Кукуруз, силажа, 45% зрна	0,10	4,18	0,00	131,0	23,5	0,00	17,7
Луцерка дехидрирана, 15% СП	0,19	10,50	0,13	309,0	31,0	0,31	21,0
Луцерка силажа, касно цветање	0,00	11,10	0,00	280,0	49,7	0,00	40,7
Луцерка силажа, рано цветање	0,63	12,10	0,16	252,0	32,4	0,18	19,5
Луцерка силажа, средина цветања	0,00	11,10	0,00	280,0	49,7	0,00	40,7
Луцерка, сенажа	0,00	2,80	0,00	290,0	24,8	0,55	26,6
Луцерка, сено, зрела биљка	0,41	13,70	0,00	170,0	38,5	0,55	22,1
Луцерка, сено, касно цветање	0,23	9,90	0,13	160,0	42,3	0,55	26,1
Луцерка, сено, пуно цветање	0,23	9,90	0,13	160,0	42,3	0,55	26,1
Луцерка, сено, рано цветање	0,29	12,70	0,17	240,0	36,0	0,55	30,0
Луцерка, сено, средина цветања	0,39	17,70	0,16	225,0	28,0	0,55	30,9
Меласа, репа	0,47	21,60	0,00	87,0	6,0	0,00	18,0
Пшеница, млевена	0,50	6,50	0,10	45,1	36,6	0,05	38,1
Пшеничне мекиње	0,11	14,00	0,07	128,0	125,0	0,43	128,0
Сирак, зрно	0,53	4,90	0,07	60,0	17,9	0,23	19,1
Сирак, силажа	0,30	9,20	0,00	383,0	68,5	0,03	32,0
Соја, зрно	0,00	14,58	0,00	182,0	34,5	0,12	59,0
Сојина сачма, 44% СП	0,12	22,40	0,00	185,0	35,0	0,51	57,0
Сојина сачма, 49% СП	0,12	22,50	0,12	145,0	41,0	0,22	63,0
Суданска трава, силажа	0,27	36,60	0,00	120,0	98,8	0,00	0,0
Сунцокретова сачма	0,00	4,00	0,00	33,0	20,0	2,30	105,0

Табела 47. Неоргански извори и процена биолошке расположивости микроелемената (NRC, 1998).

Извори минерала	Хемијска формула	Садржај минерала (%)	Релативна биолошка расположивост минерала (%)
Извори бакра			
Бакар сулфат пентахидрат	$\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$	25,2	100
Бакар хлорид	$\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$	58,0	100
Бакар оксид	CuO	75,0	0 до 10
Бакар карбонат монохидрат	$\text{CuCO}_3 \times \text{Cu}(\text{OH})_2 \times \text{H}_2\text{O}$	50 до 55	60 до 100
Бакар сулфат, анхидровани	CuSO_4	39,9	100
Извори гвожђа			
Гвожђе сулфат монохидрат	$\text{FeSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$	30,0	100
Гвожђе сулфат хептахидрат	$\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	20,0	100
Гвожђе карбонат	FeCO_3	38,0	15 до 80
Гвожђе оксид	Fe_2O_3	69,9	0
Гвожђе хлорид хексахидрат	$\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$	20,7	40 до 100
Гвожђе оксид	FeO	77,8	нема података
Извори мангана			
Манган сулфат монохидрат	$\text{MnSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$	29,5	100
Манган оксид	MnO	60,0	70
Манган диоксид	MnO_2	63,1	35 до 95
Манган карбонат	MnCO_3	46,4	30 до 100
Манган хлорид тетрахидрат	$\text{MnCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$	27,5	100
Извори селена			
Натријум селенит	Na_2SeO_3	45,0	100
Натријум селенит декахидрат	$\text{Na}_2\text{SeO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$	21,4	100
Извори цинка			
Синк сулфат монохидрат	$\text{ZnSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$	35,5	100
Синк оксид	ZnO	72,0	50 до 80
Синк сулфат хептахидрат	$\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	22,3	100
Синк карбонат	ZnCO_3	56,0	100
Синк хлорид	ZnCl_2	48,0	100

Табела 48. Потребе у микроелементима код животиња (на 90% суве материје оброка, за непреживаре и 100% суве материје оброка, за преживаре, уколико није другачије назначено) (NRC, 1994; NRC, 1996; NRC, 1998; NRC, 2001; NRC, 2007; LfL, 2015).

Животиња	Cu (mg/kg)	I (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Se (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Co (mg/kg)
Свиње							
Свиње у порасту и тову							
5-11 kg ТМ	6	0,14	100	4	0,30	100	
11-25 kg ТМ	5	0,14	100	3	0,25	80	
25-50 kg ТМ	4	0,14	60	2	0,20	60	
50-75 kg ТМ	4	0,14	50	2	0,15	50	
75-135 kg ТМ	3	0,14	40	2	0,15	50	
Крмаче							
Гравидитет	10	0,14	80	25	0,15	100	
Лактација	20	0,14	80	25	0,15	100	
Нерастови	5	0,14	80	20	0,30	50	
Живина							
Носиље							
0 до 6 недеља	5	0,33	75	56	0,14	38	
6 до 12 недеља	4	0,33	56	28	0,10	33	
12 до 18 недеља	4	0,33	56	28	0,10	33	
18 недеља до првог јајета	4	0,33	56	28	0,10	33	
Носиље у експлоатацији	-	0,044	56	25	0,08	44	
Бројлери							
0 до 3 недеља	8	0,35	80	60	0,15	40	
3 до 6 недеља	8	0,35	80	60	0,15	40	
6 до 8 недеља	8	0,35	80	60	0,15	40	
Ћурке							
Товне ћурке							
0 до 4 недеља	8	0,40	80	60	0,20	70	
4 до 8 недеља	8	0,40	60	60	0,20	65	
8 до 12 недеља	6	0,40	60	60	0,20	50	
12 до 16 недеља	6	0,40	60	60	0,20	40	
16 до 20 недеља	6	0,40	50	60	0,20	40	
20 до 24 недеља	6	0,40	50	60	0,20	40	
Уздржне потребе	6	0,40	50	60	0,20	40	
Носиље	8	0,40	60	60	0,20	65	
Патке							
0 до 2 недеље				50	0,2	60	

Табела 48. Потребе у микроелементима код животиња (на 90% суве материје оброка, за непреживаре и 100% суве материје оброка, за преживаре, уколико није другачије назначено) (*наставак*).

Животиња	Cu (mg/kg)	I (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Se (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Co (mg/kg)
Говеда							
Високоп. краве	15	0,7	50	50	0,3	70	0,2
Нископ. краве	10	0,5	50	50	0,3	50	0,2
Засушене краве	12	0,4	50	50	0,3	20	0,2
Телад	10	0,3	50	40	0,3	40	0,2
Јунад	10	0,3	50	40	0,2	40	0,2
Припл. јунице	10	0,3	50	40	0,3	40	0,2
Овце							
Овце у лакт.	7	0,8	30	30	0,2	50	0,2
Овце ван лакт.	7	0,5	30	30	0,1	30	0,1
Јагњад у тову	6	0,5	80	30	0,3	30	0,2
Козе							
Козе у лактацији	15	0,8	20	20	0,3	50	0,1
Козе ван лакт.	15	0,5	40	30	0,2	30	0,1

3.6.3. ОСТАЛИ МИНЕРАЛНИ ЕЛЕМЕНТИ

У експериментима са пацовима и пилићима, као есенцијални показали су се следећи минерали: силицијум, хром, калај и никал. Пилићи храњени пречишћеним оброцима, имали су повећани пораст при додавању сваког од ових елемената. Потребе у овим елементима су мале, али нема доказа да су животиње храњене уобичајеним оброцима показивале знаке недостатка ових минерала.

СИЛИЦИЈУМ (Si)

Силицијум диоксид је утврђен у пепелу већине биљних и животињских ткива у малим количинама. Верује се да силицијум има улогу биолошког везивног агенса, као старски дериват силицијумове киселине и да доприноси структурном интегритету везивних ткива, костију и биљака. Силицијум је, такође, интегрална компонента мукополисахарида, хрскавице и колагена. У биљкама силицијум служи као структурна компонента која повећава јачину и чврстину биљних ћелија. Силицијум диоксид није сварљив и има негативан утицај на сварљивост ћелијских зидова. У неким хранивима утврђена је велика количина силицијум диоксида, као што је то случај са љускама пиринча и пшеничном сламом. Високи нивои силицијум диоксида у оброку животиња могу бити штетни. У преживара на паши са високим садржајем силицијум диоксида, запажа се појава бубрежног камења. Сматра се да је Si есенцијалан елемент за пилиће и да његово одсуство спречава нормалан пораст и развој скелета. Дефицит доводи до појаве деформација зглобне хрскавице и везивног ткива у пилића. Si учествује у синтези мукополисахарида и представља компоненту мукополисахарид-протеинског комплекса везивног ткива, тј. доприноси структурном интегритету везивног ткива.

Силицијум се лако апсорбује и излучује фецесом и урином из организма животиње. Ово је разлог због чега је његово депоновање у организму ограничено.

Када силицијум доспе у крв, лако прелази у урин. И при различитом конзумирању силицијума, његова концентрација у крви остаје релативно константна. Силицијум се обично ефикасно елиминише урином.

Тровање силицијумом је познато као обољење рудара, кога изазива инхалација честица силицијума у плућа. Под одређеним условима, део силицијума присутан у урину бива депонован у бубрезима, жучној кеси или уретерима, где се формира камење или уролити. Силицијумова *уролитијаза* забележена је у животиња на паши у деловима Аустралије, Канаде и САД-а.

ХРОМ (Cr)

Хром је веома важан за метаболизам глукозе и омогућавање функције инсулина. Такође, има одређену улогу у синтези масти и протеина и хомеостазе холестерола у крвном серуму. Експерименталне животиње храњене оброцима састављеним од зрна житарица и обраног млека који су садржали 100 μg хрома/kg, имали су бржи пораст када су добијали допунски хром ацетат. Његова улогу се огледа у толерисању глукозе, формирањем комплекса између инсулина и рецептора. Хром, такође, може имати одређену улогу у синтези липида, пошто је у експериментима утврђено опадање садржаја холестерола у крвном серуму, а повећан садржај липопротеин-холестерола високе густине у случају дефицита. Такође се мисли да је укључен у метаболизам протеина и нуклеинских киселина.

Експерименти изведени на свињама су доказали претходне претпоставке, уз пораст количине меса и смањење количине депонованих масти, као последица ефикаснијег метаболизма глукозе и смањеног катаболизма протеина. Приликом извођења експеримената на живини, додаток хрома у храну за бројлере је резултирао њиховим интензивним порастом, а у храни за коке носиле, смањењем садржаја холестерола у њиховом серуму и јајима.

У огледима са преживарима, ефекти додатка хрома су веома варијабилни. Најчешће, додаток хрома не утиче значајно на прираст животиња, али може да измени састав тог прираста и тиме квалитет добијених полутки. Животиње храњене са додатком хрома могу имати мање депоновање масти и меснатије трупове. Испитује се и утицај хрома код музних крава, са очекивањем да би додаток хрома могао бити користан у периодима краја стеоности и почетка лактације, као и током топлотног стреса.

Хром спада и у групу токсичних минерала. Ово пре свега зависи о његовој валентности. У исхрани се користи тровалентни хром, а токсичност се везује пре свега за шестовалентни јон. У овом облику може бити снажан алерген, изазвати акутне иритације па чак и канцерогене промене код људи и експерименталних животиња. У форми његовог нерастворљивог оксида (Cr_2O_3), деценијама се користио као маркер у експериментима сварљивости.

ВАНАДИЈУМ (V)

Ово је есенцијелан микроелемент за пилиће. Ако пилићи конзумирају храну са ниским садржајем ванадијума, опада интензитет пораста биомасе и перја. У пилића који конзумирају оброке са мање од 10 μg ванадијума/kg суве материје, пораст крила и репног перја је био значајно смањен. Огледи на пилићима су показали значајно повећање пораста телесне масе када су оброци садржали 30 $\mu\text{g/kg}$ суве материје овог елемента. Има мало података о садржају ванадијума у хранивима, али количине од 30-110 $\mu\text{g/kg}$ суве материје утврђене су у љуљу. Ванадијум је

релативно токсичан елемент. При високим концентрацијама у оброцима живине, долази до депресије у порасту, а при нивоима од 200 mg/kg суве материје obroка, проценат смртности је велик. Конзумирање великих количина ванадијума инхибира синтезу холестерола. Ванадијум спречава стимулативни ефекат мангана у синтези холестерола.

ФЛУОР (F)

Данас се флуор сматра есенцијалним микроелементом, зато што поред његовог корисног утицаја на пигментацију секутића и превенирање зубног каријеса, повећава пораст пацова: 2,5 ppm флуорида у obroку доводи до оптималног пораста.

Осим његове улоге у спречавању каријеса зуба, флуор (F) се може сматрати и отровним минералом животиње. Хронична флуороза је забележена у неколико делова света, углавном као последица прашине која садржи флуор из челичана и других прерађивачких индустрија, са супстанцама богатим у флуору, као што је руда алуминијума, као и при коришћењу сирових фосфата богатих у флуору, као минералног додатка за животиње.

Количина од 1 ppm флуора у води смањује каријес зуба, док 2 ppm и више флуора изазива ишараност емајла зуба, а 8 ppm у води изазива појаву остеосклерозе. Количина од 110 ppm флуора у храни или води, изазива задржавање пораста и промене у бубрезима, а 2,5 g или више при оралној акутној дози је фатално.

Брзина пораста је смањена при високом нивоу флуора, али само у присуству ниског нивоа калцијума у храни. Прасад добијена од крмача, храњених високим нивоом флуора имала су смањену дужину и телесну масу, а повећану концентрацију флуора у хумерусу, указујући тиме на ефикасан трансфер флуора преко плаценте.

Флуор представља потенцијални инхибитор ензима. Активност оксидазе масних киселина у бубрезима је смањена у време флуорозе, указујући тако на погоршан метаболизам липида. Поремећен је, такође, и метаболизам угљених хидрата. Начелно се може рећи да све животиње могу толерисати прилично високо конзумирање флуора из сирових фосфата или фосфатних кречњака, него из извора растворљивијих у води. Висок ниво калцијума, магнезијума или алуминијума или висока концентрација калцијума у води, када је флуор додат води, инхибирају токсично деловање флуора.

Апсорпција и секреција. Готово потпуна апсорпција растворљивог флуора одвија се у гастроинтестиналном тракту, претежно у танким цревима. Флуор слободно пролази кроз ћелијску мембрану и тако брзо доспева у крв након апсорпције. Известан део флуора улази у црвена крвна зрнца, тако да око 25% укупног флуора крви је унутар црвених крвних зрнаца. Скелет такође, брзо усваја флуор. Апсорбовани флуор, који избегава ретенцију у скелету, излучује се углавном урином, а у мањем обиму знојем и поновном екскрецијом преко гастроинтестиналног тракта. Екскреција урином у говеда и оваца обично представља 50-90% флуора присутног у храни, а у зависности од растворљивости и удела апсорбованог флуора. Концентрација флуора у млеку је под незнатним утицајем садржаја у храни, мада прасад која сисају крмаче храњене великом количином флуора, имају повећан садржај флуора у костима.

Већина биљака има ограничену способност апсорпције флуора из земљишта. Нормални нивои флуора у зеленој трави крећу се од 2-16 mg/kg суве материје. Зрна житарица садрже само 1-3 mg/kg суве материје.

Толерантност на ниво флуора у храни зависи од његове хемијске форме, врсте и старости животиња, дужине и континуитета узимања. Високо растворљиви натријум флуорид у већој је мери токсичан од калцијум флуорида и других нерастворљивих производа, као што су трикалцијум фосфати који садрже флуор. Живина толерише знатно више нивое флуора од других врста животиња. Оваква, већа толерантност живине, вероватно је последица мале апсорпције и повећане екскреције флуора.

Токсичност флуора. Токсичне количине флуора животиње могу унети коришћењем недефлуорисаног трикалцијум фосфата (који садржи 3-4% флуорида), конзумирањем хранива контаминираних парама флуорида, из воде за пиће која садржи сувишне количине флуора. Поред његове улоге у превенирању каријеса зуба и помагања нормалном порасту, флуор има и нутритивни значај јер постаје токсичан када конзумирана количина пређе 30-40 ppm у сувој материји obroка. У случају *флуорозе* зуби губе природни сјај, при чему личе на креду и постају рупичасти. У говеда, оваца и свиња зуби постају мекани и брзо се троше. При узимању великих количина у току одређеног периода, флуор може реметити пораст животиња, репродукцију и лактацију. Нагло смањење апетита које редовно прати флуорозу, представља примарни узрок. Флуор, такође, може инхибирати одређене ензиме, који су у вези са метаболизмом угљених хидрата и липида. Утицај флуора је кумулативан, тако да континуирано конзумирање малих количина може на крају изазвати токсичан ефекат.

Конзумирање сувишних количина флуора може представљати практичан проблем у минералним смешама животиња. Сирови фосфати, који садрже више од 0,1% флуора, представљају опасне изворе фосфора и треба их користити у минералним смешама, само ако су претходно дефлуорисани.

3.6.4. ТОКСИЧНИ МИНЕРАЛИ У ХРАНИ ЗА ЖИВОТИЊЕ

Мада приказивање токсичних елемената у посебном поглављу може изгледати непотребним, њихов потенцијални утицај на спољашњу околину и здравље животиња, захтевају одређену пажњу. У овом поглављу су изнети, углавном, они неоргански елементи који су природно токсични за животиње, а за које има мало или нема доказа о метаболичким потребама. Неки од ових су широко распрострањени у спољашњој околини, а њихово присуство у ткивима животиња је од непознатог биолошког значаја.

За разлику од органских једињења, чије присуство у природи зависи од синтезе живих организама, минерални елементи су коначне форме и нису равномерно дистрибуирани на нашој планети. Транслокација минерала интервенцијама човека (копање руда, индустрија, пољопривреда) и природним путем (земљотреси, олује, глечери, вулканске ерупције) допринели су разликама у географској дистрибуцији и концентрацијама појединих минерала. Поред тровања минералима, животиње и људи се срећу и са многим органским токсинима у њиховој храни.

Сви неоргански елементи, као и све хранљиве материје, могу бити токсични, ако се уносе у организам животиње у сувишним количинама. Граница безбедности између минималне потребне количине у obroку и количине која доводи до неповољних последица, значајно се разликује између појединих елемената, а у

зависности од услова. Тако, нпр. NaCl може изазвати грчеве и угинуће свиња, ако се оне хране 4-5 пута већом количином од потребне, уз ограничен приступ води, али је толерантност много већа при конзумирању адекватне количине воде. Насупрот овоме, потребна количина Zn у оброку свиња износи 25-50 ppm, а да би дошло до појаве симптома тровања потребна је 20-40 пута већа количина овог елемента у оброку.

Преглед толеранције животиња на минерале обезбеђује сажете информације и табличне вредности о утицају уношења токсичних и сувишних нивоа потребних минерала. Максимални толерантни нивои минерала у оброку животиња приказани су у табели 49.

Као што је већ речено, читав низ микроелемената може бити токсичан за животиње. Овде ће бити речи само о неким минералним елементима, који представљају веће практичне проблеме за животиње и човека. У ову групу минерала спадају Pb (олово), Cd (кадмијум), Hg (жива), As (арсен) и Mo (молибден).

ОЛОВО (Pb)

Могућност тровања животиња оловом, позната је вековима. Тровање оловом постало је клинички проблем у Западној Европи још у седамнаестом и осамнаестом веку. Данас се случајеви тровања оловом најчешће срећу где до контаминације долази при узимању биљака третираних различитим хемијским средствима, произведеним поред топионица, рудника и путева. Контаминација поред ауто путева је последица деловања тетраетил олова, избаченог са издувним гасовима аутомобилских мотора, што је довело задњих деценија до коришћења безоловног бензина за моторе са унутрашњим сагоревањем. Поред тога, до случајева тровања долази и при коришћењу водоводних цеви, са високом концентрацијом олова. Симптоми тровања животиња оловом су бледило, анемијност, малаксалост, анорексија и претерана раздражљивост. Последњи симптоми тровања укључују анемију, повећане нивое Pb у крви животиња и излучивање урином. Тровање оловом утиче на неколико телесних органа и ткива. Појава микроцитне, хипохроматске анемије последица је тровања оловом. Он настаје као резултат скраћења века црвених крвних зрнаца, због сувишне хемолизе и смањеног формирања ових крвних елемената, те блокирања синтезе хема. У бубрезима, појава патолошких промена, доводи до амино ацидурије, гликогурије и хиперфосфатурије. Пропратне појаве оваког стања су некроза, хеморагија и улцерације желуца и танких црева у животиња. На нервном систему животиња долази до тачкастих хеморагија, губитка мијелинске овојнице мозга и губитка мијелина из нервних овојница мозга, што је праћено цереброкортикалним омекшавањем након дуготрајног тровања животиња. Тровање животиња оловом има негативан утицај и на коштани систем, доводећи тако до остеопорозе у оваца, смањења формирања матрикса костију и сувишне ресорпције минерализованих костију. Задебљања зглобова других костију, редовна су појава у свиња и коња.

Висок ниво Са у храни животиња, смањује апсорпцију Pb из цревног тракта, чији механизам још није потпуно објашњен. У свиња са ниским нивоом калцијума у храни (0,7%), у присуству 1000 ppm олова, долази до великог усвајања олова од стране телесних ткива и појаве изразитијих симптома тровања, него оброцима са високим садржајем калцијума (1,2%).

Олово се може апсорбовати преко гастроинтестиналног тракта, плућа и коже. Континуирано орално уношење олова доводи до стварања велике концентрације у

костима и знатно мање концентрације у другим телесним ткивима. Хронично тровање оловом се може јавити у говеда, оваца, коња, односно животиња које конзумирају кабаста хранива контаминирана оловом, преко испарења и прашине ослобођене из индустријских постројења. Коњи су осетљивији на тровање оловом од говеда. Концентрација олова од 80 ppm у кабастим хранивима је отровна за коње, а 200 ppm за говеда.

Повећани нивои Ca, P, Fe, Mg и витамина E у храни, смањују токсичност олова. Насупрот њима, Hg, Cd, Mo, Se, F и витамин D повећавају токсичност олова.

КАДМИЈУМ (Cd)

Кадмијум је веома токсичан елемент за животиње, а посебно штетан ефекат има на тестисе и бубреге животиња. Кадмијум је редовно присутан у руди цинка, а широко се користи у индустрији акумулатора, пигмената, стабилизатора и електро индустрији. У атмосфери изнад великих градова редовно је присутан у значајним концентрацијама, мада и вода може представљати значајан извор овог елемента. Загађења, до којих долази услед индустријске употребе кадмијума, доводи до пораста његовог садржаја у кабастим хранивима од преко 40 пута. Кадмијум представља метаболички антагонист цинка, бакра и калцијума. Токсично деловање кадмијума слично је ономе при недостатку цинка.

Специфичан неповољан ефекат кадмијума, када је даван експерименталним животињама, укључује оштећење бубрега и хипертензију, као и микроцитну, хипохрому анемију. Токсичност кадмијума се повећава при високим нивоима цинка, гвожђа и калцијума у храни.

Анемија и депресија пораста могу бити делимично ублажени при оралном или парентералном уношењу додатног гвожђа. Токсичност кадмијума може бити ублажена, такође, при високом нивоу Zn, Fe и Ca у храни животиња. Сложена интеракција је очигледна између нивоа у храни Cu, F и Zn у заштити од тровања кадмијумом. Низак ниво калцијума у храни животиња, погоршава утицај кадмијума на смањење садржаја калцијума у костима.

ЖИВА (Hg)

Дуго је познато да је жива токсичан елемент, који улази у организам животиње конзумирањем и инхалацијом. Примена различитих фумиганата и инсектицида, на бази органске живе, у индустрији и пољопривреди, ствара озбиљне проблеме. Повећана је концентрација живе у водотоковима и језерима, у биљним и животињским производима, који су расли близу извора контаминације. Случајеви тровања животиња живом, јављају се при исхрани са семеном житарица, третираним са фунгицидима на бази живе.

Жива има природни афинитет везивања са -SH групама, услед чега инхибира ензимске системе, који садрже овакве групе. Жива се акумулира у лизозомима унутар ћелија, што доводи до њиховог разарања, што затим изазива ослобађање хидролитичких ензима. При тровању животиња живом, долази до некрозе бубрега и смрти. Органска једињења живе, као што су метил и фенил жива, имају јаче изражена токсична својства од неорганских једињења, као што је HgCl₂. Сва ова једињења изазивају нагомилавање живе у јетри и бубрезима, доводећи тако до изразитог опадања пораста животиња и смањене носивости и процента лежења јаја у кокоши носилца. Уношење селена у организам животиње се штите бубрези од некрозе и побољшава преживљавање. Додавање витамина E показује исти ефекат као и селен.

Садржај живе у длаци, ноктима и зубима даје користан индекс степена излагања животиња. Екскреција живе урином, мања је од излучивања фецесом, мада су утврђене и одређене генетске разлике између животиња. Део живе у фецесу, пореклом је из жучи. Метил форма живе дуже се задржава у телесним ткивима од неорганских форми. Жива може утицати на апсорпцију и транспорт бакра, цинка и кадмијума. Селен и витамин Е имају заштитну улогу против токсичног деловања живе.

АРСЕН (As)

Арсен се јавља у ваздуху, земљишту и нарочито води. Широко је распрострањен у телесним ткивима и течностима, али је нарочито концентрисан у кожи, ноктима и длаци. Утврђена је његова есенцијална улога у исхрани пацова, пилића, свиња и коза. Неопходан је за формирање метаболита метионина и цистина. Животиње храњене оброцима дефицитарним у арсену, имале су груб покривач и спорији пораст од контролних животиња које су добијале допунски арсен. Дуготрајна испитивања на козама показала су поремећаје у репродукцији (абортуси, мала порођајна маса) и производњи млека и изненадна угинућа животиња.

Добро позната токсичност овог елемента се може објаснити његовим везивањем за сулфхидрил групе протеина, због блокирања ензимских активности. Арсен може бити највећи извор тровања животиња у регионима око топионица и тамо где се арсенова једињења користе за контролу семена и инсеката, стим да су неорганска једињења знатно токсичнија од органских.

Међутим, неколико органских једињења арсена су позната као стимулатори пораста свиња и живине, а њихова активност личи на активност антибиотика. За четири једињења арсена доказана је одређена вредност у том погледу. Међутим, тачан начин деловања ових елемената још је непознат, мада нека (арсенска киселина) делују много сличније антибиотцима у стимулисању пораста.

Апсорпција и ретенција арсена у организму варира у зависности од количине и хемијске форме која је конзумирана. При томе треба имати у виду да се токсичнија једињења арсена задржавају у телесним ткивима у већим количинама и спорије излучују од мање токсичних једињења. Арсен присутан у већини хранива се лакше апсорбује и брзо излучује урином. Неоргански облици арсена се, такође, добро апсорбују, али се дуже задржавају и у већим количинама у телесним ткивима.

Арсен је елемент који је посебно присутан у води. За нас је веома значајан јер је деценијама позната чињеница да воде Војводине садрже количине арсена које умногоме превазилазе максимално дозвољену количину арсена од 10 µg/l. Сматра се да трећина популације људи и животиња у Војводини пије воду у којој су количине арсена изнад законског максимума.

МОЛИБДЕН (Mo)

Молибден је есенцијалан елемент када се налази у траговима. Нормално је присутан у организму животиња у прилично малим количинама. Јетра, мишићи, кожа и кости садрже веће количине молибдена од већине других органа. Иако молибден представља потребну хранљиву материју, од већег су практичног интереса његова токсична својства.

Постоје изразите разлике између врста животиња у погледу осетљивости на конзумирање високих нивоа молибдена. Када су свиње храњене са 1000 ppm молибдена у оброку у току 3 месеца, нису испољавале знаке оболења. Нивои од 50-100 ppm изазвали су јаку диареју у говеда. Живина и кунџи се налазе између

свиња и говеда у погледу толеранције на високе нивое молибдена. Знаци тровања, поред диареје у говеда, укључују анемију, дерматозу, анорексију, деформисане предње ноге у кунића и смањену лактацију и тестикуларну дегенерацију у неколико врста. Манифестације тровања молибденом у оваца укључују смањен ниво бакра у јетри и крвној плазми, смањење коврцавости и пигментације вунског влакна, анемију и алопецију.

Разлике између врста животиња у погледу апсорпције и екскреције молибдена објашњавају се разликама у толеранцији на високе нивое молибдена. Хексавалентне форме молибдена, присутне у кабасти хранивима, растворљиве су у води и добро се апсорбују од стране говеда. Молибден се брже апсорбује од стране свиња него говеда, али се брзо губи урином. Садржај молибдена у млеку преживара је повећан при конзумирању кабастих хранива богатих у молибдену. Садржај молибдена у млеку оваца које пасу кабасти хранива која садрже 1 ppm молибдена, износио је 10 µg/литар у односу на 980 µg/литар млека у оваца које су пасле кабасти хранива са 3 ppm молибдена. Молибден у млеку је везан у потпуности за ксантин оксидазу, тако да је концентрација молибдена сразмерна активности ензима.

Апсорпција молибдена из гастроинтестиналног тракта, смањена је у великој мери присуством високог нивоа сулфата у храни. Ово повремено утиче на концентрацију молибдена у крви и ткивима животиња.

Токсичност молибдена везана је за дефицит бакра, пошто молибден умањује доступност бакра. Сувишни нивои молибдена и сулфата, доводе до појаве симптома недостатка бакра у преживара, чак и при адекватном конзумирању бакра. Насупрот овоме, хронично тровање бакром утврђено је и при умереном узимању бакра и веома ниским нивоима молибдена и сулфата у храни. Најважнији симптоми тровања молибденом су исти као и при тровању бакром. Толерантност животиња на високе нивое молибдена, различита је у зависности од врсте животиње, као и садржаја бакра и сумпора у оброку. У том погледу, говеда поседују најмању толерантност, затим овце, док су коњи и свиње најтолерантније врсте животиња. Најјача *молибденоза* (тровање молибденом) јавља се у говеда на паши, која садржи 20-100 ppm молибдена, у односу на уобичајена хранива која садрже 3-5 ppm. Најчешћи знаци тровања молибденом слични су знацима дефицита бакра: диареја, груба длака и губитак телесне масе. Овакво стање се може спречити оралним или интравенским додавањем бакра. Дакле, врста животиње, старост, форма унетог Мо, статус и конзумирање бакра и садржај неорганског сулфата у храни, имају утицаја на ниво Мо који животиње толеришу.

Табела 49. Максимални толерантни нивои у храни животиња (NRC, 2005)^а.

Елемент	Врста животиње					
	Говеда	Овце	Свиње	Живина	Коњи	Глодари
Алуминијум ^б	1000	1000	200*	200	200*	200*
Антимон, ppm	-	-	-	-	-	70-150
Арсен, ppm						
Неоргански	50	50	50	50	50*	50
Органски	100	100	100	100	100*	100*
Баријум ^б , ppm	20*	20*	20*	20*	20*	20*
Бизмут, ppm	400*	400*	400*	400*	400*	2000
Бор, ppm	150	150*	150*	150*	150*	150*
Бром, ppm	200	200*	200	2500*	200*	200*
Кадмијум ^и , ppm	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5*	0,5*
Калцијум ^л , %	2	2	1	0,4-1,2	2	2
Хром, ppm						
Хлорид	1000*	1000*	1000*	1000*	1000*	1000*
Оксид	3000*	3000*	3000*	3000*	3000*	3000*
Кобалт, ppm	10	10	10	10	10*	10*
Бакар, ppm	100	25	250	300	800	200
Флуор ^с , ppm	40-100	60-150	150	150	40*	40*
Јод, ppm	500 ^ф	50	400	300	5	-
Гвожђе, ppm	1000	500	3000	1000	500*	500*
Олово, ppm	30	30	30	30	30	30*
Магнезијум, %	0,5	0,5	0,3*	0,3*	0,3*	0,3*
Манган, ppm	1000	1000	400	2000	400*	400*
Жива ^с , ppm	2	2	2	2	2*	2*
Молибден, ppm	10	10	20	100	5*	500
Никл, ppm	50	50*	100*	300*	50*	50*
Фосфор ^л , %	1	0,6	1,5	0,8-1	1	1
Калијум, %	3	3	2*	2*	3*	3*
Селен, ppm	2*	0,2	2	2	2*	2*
Силицијум ^б , %	0,2*	0,2	-	-	-	-
Сребро, ppm	-	-	100*	100	-	-
Стронцијум, ppm	2000	2000	3000	300-30000	2000*	2000*
Сумпор, %	0,4*	0,4*	-	-	-	-
Калај, ppm	-	-	-	-	-	-
Титан ^г , ppm	-	-	-	-	-	-
Волфрам, ppm	20*	20*	20*	20*	20*	20*
Уранијум, ppm	-	-	-	-	-	-
Ванадијум, ppm	50	50	10*	10	10*	10*
Синк, ppm	500	300	1000	1000	500*	500*

^аТекст треба користити пре примене максималним толерантних нивоа у практичним условима. Дуготрајна континуирана исхрана минералима, може изазвати неповољне ефекте. Наведени нивои су добијени из података тровања означених врста.

Нивои означени са "*" добијени су екстраполацијом унутар врсте.

^бКао растворљиве соли високе биодоступности. Виши нивои мање растворљивих форми утврђених у природним супстанцама могу бити толерисани.

^иНивои засновани на разматрањима резидуа људске хране.

^лОднос калцијума и фосфора је важан.

^сКао натријум хлорид или флуориди сличне токсичности. Флуор у одређеним изворима фосфата, може бити мање токсичан.

^фМоже резултирати у неповољно високим нивоима јода у млеку.

^гНема доказа о утврђеној оралној токсичности.

4. КАКО СТИЧЕМО ЗНАЊА О ИСХРАНИ ЖИВОТИЊА?

Да би се животиње могле хранити успешно и економично, потребно је да људи који доносе одлуке о њиховој исхрани – нутриционисти за животиње, поседују знања о томе како ће различита храна утицати на одређене животиње. Колико ће животиње те хране уносити, колико успешно ће искоришћавати хранљиве материје из ње, како ће то утицати на њихово здравље, производњу и економичност те производње. Ова знања су изузетно битна јер утичу на доношење пословних одлука које могу значајно изменити успешност пословања пољопривредних газдинстава и фарми, као и фабрика сточне хране.

Некада су сточари знања о исхрани својих животиња стицали сопственим опажањем повезаности неке хране и промена у здрављу и производњи животиња које ту храну конзумирају, а онда су се таква знања преносила са генерације на генерацију и временом потврђивала или одбацивала. Данас **живимо у свету брзих промена**. Животиње које хранимо, као и храна коју за то користимо, константно се мењају. Данашњи хибридни товни пилићи расту вишеструко брже него некадашња живина, данашње музне краве дају раније незамисливе количине млека, у исхрани се користе синтетичке аминокиселине и витамини, итд. Ово доводи до тога да и исхрана мора да се мења и прилагођава и да начини исхране животиња не могу да се преносе са генерације на генерацију.

Данас, такође, живимо у време укрупњавања пољопривредне производње. Број пољопривредних газдинстава која гаје једну или две краве, десет оваца итд. се смањује, а **они који желе да буду успешни у агробизнису су приморани да проширују своју производњу**, гаје десетине и стотине крава, стотине оваца, десетине хиљада товних пилића и кока носила. На оваквим, великим фармама, мале разлике долазе до изражаја. Док некоме ко за себе гаји двадесетак пилића, утрошак хране већи за 100 грама по пилету не мења ништа, на великим фармама ово може представљати разлику између фарме која успешно послује и оне која ће бити затворена. Ономе ко има једну краву, килограм млека дневно мање или више није много битан, али на фарми која има сто крава на мужи, то је 36,5 тона млека годишње. Због тога, **исхрана животиња у модерној пољопривредној производњи захтева другачији приступ од онога који су користили наши преци**: анализе хране, оптимизацију obroка, прецизну исхрану, и пре свега, много више знања него раније.

У оквиру специјализације послова и поделе улога у друштву, и посао стварања и преноса знања доживео је битне промене. Развијен је механизам који се састоји од научних и образовних институција које се професионално баве оним што је некада давно сваки појединац радио сам за себе, стварањем и преносом знања. Као што данас човек не пече сам свој хлеб, не шије сам своју одећу, не гради сам зграду у којој ће живети, тако и подучавање своје деце препушта образовним институцијама који ће им пренети знања која стварају научници и истраживачи. Овакав приступ је неупоредиво ефикаснији, али носи ризик неповерења између чланова друштва који обављају различите задатке. Ово је нарочито изражено данас, када су свуда око нас маркетинг и непроверене информације.

Иако је истраживање и стварање знања постало предмет рада професионалних истраживача, **веома је корисно да и они који се баве практичном исхраном животиња буду упознати са принципима научних истраживања**. Ово им може помоћи да разлуче празни маркетинг од истински вредних информација и процене снагу аргумената за и против коришћења одређене хране или адитива. Такође, многи произвођачи ће пожелети да сами процене да ли је концентрат произвођача

Х добар, да ли пивски троп повећава млечност њихових крава, да ли да користе пелетирану храну, итд. Да би то могли да ураде што квалитетније, али и да процене поузданост добијених података, неопходно је да разумеју изазове у процесу истраживања и начине како се они превазилазе.

4.1. ХРАНИДБЕНИ ОГЛЕДИ

Огледи у области исхране животиња најчешће **испитују како различите концентрације хранљивих материја и енергије, различита хранива и адитиви, антинутритивне материје, системи исхране итд., делују на животиње.** У раној фази развоја науке о исхрани, фокус је био на откривању хранљивих материја, тј. утврђивању да ли је нека од компоненти хране, као што су глукоза, лизин, олеинска киселина, цинк или аскорбинска киселина, неопходна у храни или животиње могу успешно функционисати и без ње. Данас је углавном разјашњено које су то материје есенцијалне – незаменљиве у исхрани, а фокус истраживања је пребачен на проналажење оптималних концентрација тих хранљивих материја за одређену врсту, категорију и специфичну ситуацију у исхрани, као и проналажење најбољих и најекономичнијих начина да се те хранљиве материје обезбеде у оброку животиња. Данас је потпуно јасно да је селен неопходан животињама, али се и даље интензивно истражује колико је милиграма селена дневно потребно пилићима на почетку това, а колико на крају, колико високопроизводним кржавама, а колико нископроизводним, као и да ли је боље користити јефтиније неорганске изворе селена или скупље, где је селен везан са органским једињењима. Такође, велики део испитивања је усмерен на адитиве, супстанце које нису неопходне животињама, али им у одређеним ситуацијама могу помоћи да имају боље здравље, већу производњу итд.

Дејство хранљивих и антинутритивних материја, хранива и адитива, испитује се праћењем различитих последица њихове примене. **Прати се како утичу на производне параметре:** количину млека, број јаја, прираст масе, конзумацију и конверзију хране, успешност репродукције, учесталост угинућа животиња (морталитет), као и на учесталост појаве одређених обољења. Затим, **испитивања се баве и квалитетом добијених производа.** Испитује се како исхрана утиче на рандман клања, меснатост полутки, садржај масти и протеина у млеку, маснокиселински састав производа, сензорне карактеристике итд. Уз то, нарочити огледи испитују како се храна користи у организму и како делује на организам. У ову групу спадају **огледи сварљивости, билансна испитивања, морфолошка и физиолошка испитивања** итд.

Основни принципи хранидбених огледа

Један од основних и најважнијих принципа у спровођењу огледа је **постојање контролне групе.** У најпростијој форми огледа, имаћемо две групе животиња, огледну и контролну. Пошто су жива бића по природи варијабилна, а њихови производни резултати, квалитет производа, здравствено стање итд. су под утицајем огромног броја фактора, као што су врста, раса, генетска варијабилност унутар расе, пол, старост, услови смештаја, микроклимат, присуство патогена итд., само поређењем резултата огледне и контролне групе можемо доћи до закључака о исхрани коју испитујемо. Ако животиње које хранимо са додатком високих доза селена имају одличне резултате, то не значи нужно да су ти резултати последица високих доза селена. Само уз помоћ две групе животиња, огледне и контролне, можемо добити одговор на то питање. Ове две групе ће бити састављене од што

сличнијих животиња, смештене у што сличнијим условима и храњене што сличнијом храном, са једином разликом да огледна добија високе дозе селена, а контролна не. У таквим условима, ако је и контролна група имала подједнако добре резултате као огледна, онда се повећању нивоа селена не може приписати позитивно дејство, међутим ако је контролна група имала слабе резултате, а огледна добре, онда можемо закључити, уз статистичку обраду, да је додатак селена довео до уочених промена.

Други важан принцип у спровођењу огледа је постојање понављања. Иако реч понављања упућује на то да се један оглед изводи више пута (повнављања кроз време), у терминологији научних истраживања реч понављање се користи у смислу постојања већег броја животиња или група животиња на којима се истраживање истовремено изводи. Ако бисмо за испитивање одређене исхране узели само једну животињу, а за контролу исто тако само једну животињу, разлике у добијеним резултатима би много више биле последица индивидуалних разлика између те две животиње него последица разлика у исхрани. Због тога се обавезно за истраживање узима већи број животиња, како би се рачунањем просека њихових резултата уклонила индивидуална варијабилност и истакле само разлике које су последица испитиване исхране. Поред броја понављања, веома је важна и њихова уједначеност. Што су животиње у огледу сличније то ће се боље моћи утврдити последице различитих исхрана. Ово је најлакше оствариво код хибридне живине, где је лако могуће формирати велике групе животиња исте генетске основе, исте старости и истог пола. Код животиња где је то теже изводљиво, могуће је повећати уједначеност понављања коришћењем младунаца из истог легла, једнојајчаних близанаца итд. Тамо где је то нарочито тешко, могуће је да се једна иста животиња користи као контрола сама себи, односно да у једном периоду буде део контролне, а у другом периоду део огледне групе. Важан је и распоред понављања огледне и контролне групе у објекту (слика 42), како би се избегли утицаји разлика у температури, вентилацији, радној снази и различитој случајној варијабилности.

Исправан распоред	А	Б	Лош распоред	А	Б
	Б	А		А	Б
	А	Б		А	Б
	Б	А		А	Б
	А	Б		А	Б

Слика 42. Распоред понављања огледне (А) и контролне (Б) групе у објекту.

Трећи важан принцип у спровођењу огледа је употреба статистичке обраде добијених података. И поред постојања понављања, разлике које постоје између просечних резултата огледне групе и просечних резултата контролне групе могу бити резултат случајности. Статистичка обрада података служи да се утврди колико је вероватно да су добијене разлике резултат случајности. Када је ова вероватноћа мала, можемо тврдити да је та разлика последица примењене исхране – одређене концентрације хранљиве материје, додатка адитива итд., а када је велика

вероватноћа да се такви резултати могу добити и случајно, уздржавамо се од закључака. Као граница се најчешће узима p -вредност 0,05, односно 5% вероватноће да се толика или већа разлика добије случајно. Најчешћи статистички поступци који се користе су t -тест, анализа варијансе и регресиона анализа.

Пример једноставног огледа

Два пољопривредника су желела да знају да ли додаток на бази витамина K побољшава прирасте јунади у тову. Одлучили су да то сами испитају. Купили су овај додаток и почели да га користе на својим фармама. Након неког времена прокоментарисали су резултате. Први је тврдио да јунад добро напредује од када добијају витамин K , а други да јунад слабо напредује од кад добијају витамин K . Пошто се нису могли сложити, одлучили су да морају да се ослоне на **мерење, а не на субјективне процене**.

Наредне године су вагали свако грло на почетку и на крају това. Поделивши остварени прираст са бројем дана у тову, добили су просечан дневни прираст за то јуне, а затим су израчунали просеке, свако за своју фарму. Први пољопривредник је био одушевљен резултатом. Грла храњена са додатком витамина K просечно су прирастала 1,5 килограм на дан. Када се похвалио другом пољопривреднику, изненадио се да су његова јунад, иако су такође добијала додаток витамина K просечно расла свега 1,1 килограм на дан, што није био сјајан резултат. Схватили су да на прираст утиче много тога осим витамина K и да се ни добри резултати прве фарме, ни лоши резултати друге фарме не могу приписати витамину K . Решили су да направе **оглед**.

Наредне године, заједно су купили 10 грла. Потрудили су се да буду што сличнија. Исте расе, истог пола, сличне старости и масе. Сместили су их на исту фарму, у исте услове, хранили истом храном, осим што је 5 јунади добијало додаток витамина K – **огледна група**, а 5 јунади није добијало додаток витамина K – **контролна група**. Након што је то завршен, добијени су следећи резултати:

Остварени прирасти (кг/дан)	Огледна група	Контролна група
	1,26	1,55
	1,39	1,67
	1,55	1,54
	1,54	1,08
	1,78	1,15
Просечно	1,50	1,40

Огледна група је имала боље резултате од контролне. Први пољопривредник је обрачунао да разлика у прирасту од 0,1 кг, односно 100 грама дневно, доноси у току целог това око 7 000 динара по грлу, а додаток витамина K их је коштао само 2 000 динара по јунету. Ипак други пољопривредник је био сумњичав. Иако је огледна група у просеку била боља, поједина јунад из огледне групе су имала слабе резултате. Исто тако, нека јунад из контролне групе су имала одличне прирасте. Разлике унутар група деловале су већим од разлике између група. Можда је добијена разлика ипак само резултат случајности? Одлучили су да ураде **статистичку обраду података** помоћу t -теста. Када је прорачун завршен, установили су да је p -вредност једнака 0,49, односно да постоји веома велика вероватноћа да се оваква разлика добије случајно. Због тога су закључили да не

могу тврдити да додаток витамина К побољшава прирасте јунади. Наредне године, поновили су оглед и овај пут бољи просек имала је контролна група.

Сложенији огледи

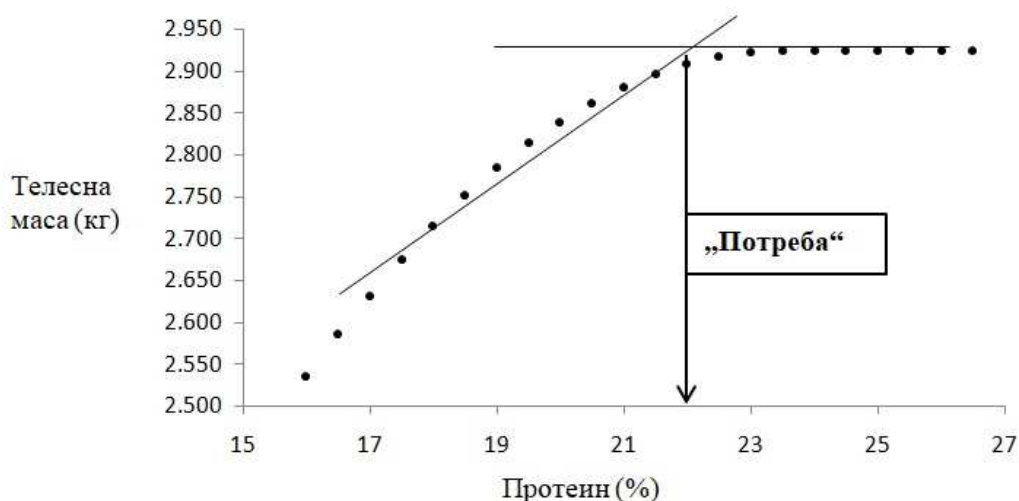
Огледи са само два третмана, тј. две групе, огледном и контролном, представљају најпростији тип огледа. Често се пореди **више различитих третмана**, од којих један може бити контролни, али је могућа и ситуација где није јасно одређено која група је контролна, већ се групе пореде међусобно. Нпр. ако се пореде сојина, сунцокретова, репицина сачма, кукурузни глутен и кукурузна цибра као извори протеина у исхрани свиња у тову, може се рећи да је група храњена сојином сачмом контролна, пошто је ово најчешће коришћено и највише испитано храниво, па се у том случају резултати других група пореде са овом. Друга могућност је да се ни једна група не издваја као контролна, већ се све групе пореде међусобно.

Поред тога што огледи могу укључивати већи број третмана, они могу укључивати и већи број фактора. Овакви огледи се називају вишефакторски или мултифакторијални. **Вишефакторски огледи имају ту предност што се поред утицаја сваког појединог фактора може пратити и интеракција између њих.** Ако се у огледу испитује утицај два фактора, енергије и протеина у исхрани музних крава и за сваки фактор имамо три третмана: низак, средњи и висок ниво, онда ће укупан број група у овом огледу бити 9:

17% СП, 5 МЈ НЕЛ	17% СП, 6 МЈ НЕЛ	17% СП, 7 МЈ НЕЛ
15% СП, 5 МЈ НЕЛ	15% СП, 6 МЈ НЕЛ	15% СП, 7 МЈ НЕЛ
13% СП, 5 МЈ НЕЛ	13% СП, 6 МЈ НЕЛ	13% СП, 7 МЈ НЕЛ

Овакав оглед ће дати много бољу слику од два одвојена огледа, од којих би један испитивао утицај протеина, а други утицај енергије. Међутим, тако велики оглед је теже извести. Ако се утврди да повећање нивоа протеина позитивно утиче на музне краве само ако је и ниво енергије висок, а да нема ефекта ако је ниво енергије низак или средњи, то значи да постоји интеракција између ова два фактора. Ако је утицај повећања протеина исти при сваком нивоу енергије, у том случају нема интеракције међу ова два фактора.

У огледима са већим бројем концентрација неке хранљиве материје или адитива, често је циљ да се пронађе оптимална концентрација, она која ће се користити у исхрани животиња. Овакви огледи се користе за **утврђивање потреба животиња** у некој хранљивој материји. Животиње обично реагују на хранљиве материје тако да се до одређеног нивоа са повећањем хранљиве материје повећава и производња животиња, али после одређеног нивоа ефекти повећавања хранљиве материје изостају. У таквим случајевима циљ је пронаћи најнижу концентрацију која ће довести до максималних резултата, а таква концентрација се назива нутритивном потребом животиња (слика 43). Најчешће, животиње могу успешно да живе и са исхраном мањом од потреба, али у том случају производња неће бити максимална. Ако хранимо бројлерске пилиће смешама са 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 и 1,4% лизина, а њихови дневни прирасти износе 50; 80; 100; 100 и 100 грама, као потреба биће утврђена концентрација лизина од 1,0%. Концентрације мање од ове не доводе до максималних резултата, а концентрације изнад ове су непотребно високе, непотребно повећавају трошкове исхране и не повећавају производњу.



Слика 43. Процена потреба бројлера у протеинима на основу утицаја нивоа протеина на телесну масу методом сломљене линије (Pesti и сар., 2005).

4.2. ИСПИТИВАЊА СВАРЉИВОСТИ

Шта је сварљивост?

Сварљивост је мера успешности варења и усвајања неке хране или хранљиве материје. Животиње део конзумиране хране успешно сваре и ресорбују из дигестивног тракта, а део прође кроз дигестивни тракт и буде избачен фецесом. Што је усвојени део већи, а избачени део мањи, то је сварљивост хране боља. Најједноставнији начин да се представи сварљивост, односно коефицијент сварљивости као њен показатељ, је:

$$\text{сварљивост} = \frac{\text{сварено (ресорбовано)}}{\text{конзумирано}}$$

Ако свиња од унетих 200 g протеина успешно свари и усвоји 100 g, онда је сварљивост једнака 100 g / 200 g, што је једнако 0,5, пола или 50%. Сварљивост је, дакле, удео свареног у конзумираном, односно део одређене материје који се свари. Под варењем се у овом смислу подразумева и ресорпција, па би исправније било назвати ову величину ресорптивност или усвојивост. Ако килограм сунцокрете сачме садржи 10 грама фосфора, а његова сварљивост из овог хранива је 70% код преживара, може се очекивати да ће јуне које конзумира килограм сунцокрете сачме из ње добити $10 \text{ g} \times 70\% = 7 \text{ g}$ фосфора.

Зашто је сварљивост важна?

Да би се успешно храниле животиње, потребно је ускладити састав хране која им се даје са потребама тих животиња. Оброк треба да садржи адекватне количине енергије, аминокиселина, витамина итд. Међутим, хранљиве материје и енергија који се налазе у храни, значајни су за животињу само ако она може да их искористи, а први корак у процесу овог коришћења је варење. Због тога се потребе животиња и хранљива вредност хранива све ређе изражавају у укупним количинама хранљивих материја, а све чешће у сварљивим, усвојивим или доступним

хранљивим материјама. На пример, пилићима у првој фази това потребно је 1,3% сварљивог лизина и 0,5% доступног фосфора у храни, кравама је за сваки килограм млека потребно 50 грама протеина сварљивог у цревима и 1,3 грама усвојивог калцијума итд.

Значај сварљивости је нарочито велик у коришћењу енергије. Органска једињења, као извори енергије за животиње, а нарочито угљени хидрати, као основни извор енергије, веома се разликују по својој сварљивости. Ово утиче на то колико ће енергије из хране бити доступно животињи, а колико ће завршити у фецесу. Слама пшенице и кукурузовина су подједнако богати укупном енергијом као зрно кукуруза или пшенице, али је њихова хранљива вредност неупоредиво нижа. Ову разлику прави сварљивост. Слама и кукурузовина су богате тешко сварљивом целулозом, а зрневље житарица лако сварљивим скробом, па ће енергија из сламе и кукурузовине великим делом завршити у фецесу, док ће енергија из зрневља највећим делом бити доступна животињи. Из овог разлога, укупан садржај енергије у хранивма (брuto енергија) потпуно је неупотребљив за изражавање потреба животиња, поређење хранива или балансирање оброка. Уместо укупне енергије, за те намене, користи се сварљива енергија или још чешће метаболичка и нето енергија.

Како се сварљивост одређује?

Важан део истраживања у науци о исхрани животиња су испитивања сварљивости. У овим истраживањима утврђује се колико успешно различите животиње варе различиту храну и од чега зависи да ли ће варење бити успешније или мање успешно. Било би веома тешко испратити колико хранљивих материја су животиње усвојиле из дигестивног тракта, па се уместо тога користи индиректан приступ. Полази се од претпоставке да материје које уђу у дигестивни тракт могу из њега изаћи на два начина, ресорпцијом у организам кроз зид црева или избацивањем кроз ректум, фецесом. Ово се може представити формулом:

$$\text{конзумирано} = \text{сварено (ресорбовано)} + \text{излучено фецесом}$$

У огледима сварљивости, од три вредности приказане у овој једначини, директно можемо измерити две: „конзумирано“ и „излучено фецесом“. Оне се добијају тако што се прати колико је хране животиња конзумирала и колико та храна садржи одређене хранљиве материје, а исто тако, прати се колико је фецеса животиња избацила и колико фецес садржи те хранљиве материје. Као разлика између ове две вредности, добија се сварена количина хранљиве материје. Због тога, формула за одређивање сварљивости заправо гласи:

$$\text{сварљивост} = \frac{\text{конзумирано} - \text{излучено фецесом}}{\text{конзумирано}}$$

Ако је измерено да је храна коју је овца унела садржала 200 грама протеина, а фецес који је избацила је садржао 50 g протеина, сварљивост је $(200 \text{ g} - 50 \text{ g}) / 200 \text{ g} = 0,75 = 75\%$.

Огледи сварљивости

Сварљивост се одређује на више различитих начина, помоћу различитих методологија, али су неке правилности заједничке за све. Као и у осталим огледима,

због природне варијабилности животиња, обично се користи 4 или више животиња за одређивање сварљивости неке хране, тј. морају постојати **понављања**. Такође, животиње на којима ће бити одређивана сварљивост, претходно се навикавају на храну чија се сварљивост испитује. Ово се ради да би се дигестивни тракт очистио од претходне хране, а животиње адаптирале на конзумацију и варење те хране. Период када се животиње навикавају на храну која ће се испитивати се назива прелиминарни или **припремни период**, и његово уобичајно трајање је око недељу дана код непреживара. Код преживара, због спорог проласка хране кроз дигестивни тракт и времена неопходног за прилагођавање буражног екосистема на нову храну, припремни период траје и по две-три недеље. Након припремног периода почиње огледни или **период колекције**. Ово је период када се сакупља излучени фецес, у целини или само узорци, зависно од методологије. И код овог периода дужина варира, а са дужином трајањем се елиминише утицај случајне варијабилности. Како би се фецес успешно могао сакупљати, животиње се обично током огледа сварљивости држе у нарочитим, тзв. метаболичким кавезима, а мушке животиње су погодније од женских, због удаљености тачака екскреције фецеса и урина и мање могућности контаминације фецеса урином.

Метода тоталне колекције и метода индикатора

Да би се могло одредити колико је неке хранљиве материје животиња унела, а колико избацила, потребно је веома прецизно утврдити количине конзумиране хране и количине избаченог фецеса. Ово се назива методом тоталне колекције. Прецизно мерење конзумиране хране и прикупљање целокупног избаченог фецеса некада може бити проблем, а и захтева доста људског рада. Због тога се уместо методе тоталне колекције данас често користи метода индикатора. **Индикатори или маркери** су супстанце које се додају у храну ради одређивања односа количина унете хране и избаченог фецеса. Маркер мора да буде потпуно несварљив, тј. нересорптиван, односно комплетна конзумирана количина мора да се избаци екскретом. Осим тога, маркер мора да има континуиран проток кроз дигестивни тракт, који прати проток хране. Како се поједине фракције у дигестивном тракту не крећу једнаком брзином, ово је тешко остварити. Хром оксид, раније најчешће коришћени маркер, у дигестивном тракту углавном прати кретање течности, а мање, чврстих честица. Поред хром оксида користи се и титанијум оксид, а често се у последње време користи и пепео нерастворљив у хлороводоничној киселини. Разлог томе је и то што је употреба хрома ризична за здравље. Као извор пепела нерастворљивог у хлороводоничној киселини, првобитно је коришћен песак, док се данас уобичајено користи комерцијални препарат на бази дијатомејске земље - целит. Обрачун сварљивости са маркером (М) се заснива на претпоставци да су конзумирана и излучена количина маркера једнаке, тј.:

$$\text{конзумација } M = \text{екскреција } M$$

Пошто је конзумација маркера једнака производу количине конзумиране хране и концентрације маркера у њој, а екскреција маркера производу количине избаченог фецеса и концентracије маркера у њему, следи:

$$M \text{ у храни } (\%) \times \text{храна} = M \text{ у фецесу } (\%) \times \text{фецес}$$

из чега добијамо:

$$\frac{\text{фецес}}{\text{храна}} = \frac{M \text{ у храни (\%)}}{M \text{ у фецесу (\%)}}$$

Иако на овај начин не знамо укупне количине фецеса и хране, помоћу маркера знамо њихов међусобни однос, што је довољно за рачунање сварљивости. Примера ради, ако је у храну додато 1% индикатора, а у фецесу буде утврђено 2% индикатора, онда је избачена количина фецеса двоструко мања од количине конзумиране хране, а ако у фецесу буде утврђено 5% индикатора, онда је количина фецеса 5 пута мања од конзумиране количине хране.

Директна сварљивост и метода разлике – диференције

Сварљивост оних хранива која могу бити једина храна за неке животиње, као и сварљивост целих оброка, одређује се директно, тј. добијена вредност сварљивости се приписује коришћеном храниву или obroку. Међутим, многа хранива не могу бити једина храна за животиње, нити је то њихов нормалан начин коришћења. Због тога се за одређивање њихове сварљивости користи индиректан приступ – метода разлике. Оваква хранива се укључе у оброк животиња заједно са хранивима испитане сварљивости, а разлика у количини несварених материја се припише испитиваном храниву. Примера ради, жели се испитати сварљивост протеина из ливадског сена и протеина из пшеничних мекиња код крава. Краве се не могу хранити само концентрованом храном као што су пшеничне мекиње, па се код мекиња мора применити метод разлике, а код сена се може применити директно одређивање. Краве се најпре хране са 15 kg ливадског сена дневно, чиме уносе 1 000 g протеина. Анализе фецеса покажу да избацују 400 g протеина дневно, па је сварљивост протеина из сена једнака $(1000-400)/1000 = 60\%$. Овом obroку се затим дода 4 килограма мекиња, чиме се унос протеина повећа са 1000 на 1600 g (150 g протеина у kg мекиња). Анализе фецеса покажу да се сада дневно избације 550 g протеина. Уз претпоставку да се сварљивост протеина из сена није променила, разлика од 150 g избачених протеина се приписује мекињама. Сварљивост протеина из мекиња износи $(600-150)/600 = 75\%$.

Привидна, права и стандардизована сварљивост

Приликом рачунања свареног као разлике између конзумираног и избаченог фецесом, занемарује се да се фецес не састоји само од несварених остатака хране. Фецес поред тога садржи и бактерије и производе њихове активности, који потичу од конзумиране хране, али и ензими, састојке жучи, одумрле епителне ћелије, слуз, итд. Ови састојци фецеса који не потичу ни од конзумиране хране, ни од бактерија, већ од саме животиње, називају се **ендогени или метаболички губици**. Варене је један веома активан процес, у коме животиња да би сварила и ресорбовала храну мора да утроши значајне количине својих хранљивих материја. У дигестивни тракт се луче велике количине ензима, хлороводоничне киселине, муцина, жучних киселина, жучних боја итд., од чега се један део усвоји назад, али се један део избаци фецесом. Такође, одређене количине цревног епитела представљају уобичајен састојак фецеса. Ово је последица како редовног обнављања епитела, тако и оштећења услед деловања абразивних хранива. Због тога је потребно, од материја нађених у фецесу, одузети оне ендеогеног, тј. метаболичког, порекла:

$$\text{права сварљивост (\%)} = \frac{\text{конзумирано} - (\text{излучено фецесом} - \text{ендогени губици})}{\text{конзумирано}}$$

Овако добијена сварљивост се назива правом, а без ове корекције, привидном. Међутим, ову корекцију је много лакше уврстити у формулу, него је утврдити у огледу, па се веома често ипак користи привидна сварљивост.

Пошто је варење један активан процес, у коме и количина ендогених губитака зависи од количине и састава унете хране, одбијање ендогених губитака може створити привид бољег коришћења хранљивих материја, него што то заиста јесте. Због тога се у исхрани неких врста животиња све више користи **стандардизована сварљивост**. При изражавању сварљивости на овај начин, ендогени губици се деле у две фракције. Базални ендогени губици – они који нису везани за храну која се испитује и специфични ендогени губици – они чији настанак је последица уноса и варења те хране. Само базални губици се одбијају од материја избачених фецесом при рачунању стандардизоване сварљивости. Специфични ендогени губици, тј. она количина хранљиве материје у фецесу која не потиче из хране, али се ту нађе због варења те хране, третирају се исто као и несварене хранљиве материје. Овај приступ је можда мање тачан од праве сварљивости, али је практичнији за употребу и кориснији у састављању смеша и оброка. Савремене препоруке за аминокиселине у исхрани свиња и живине, најчешће су изражене у стандардизовано сварљивим аминокиселинама.

Сварљивост кроз читав дигестивни тракт и парцијална сварљивост

У дигестивном тракту свих домаћих животиња, а нарочито преживара, један део варења се одвија помоћу микроорганизама који насељавају дигестивни тракт, од којих кључну улогу имају бактерије. Ово варење веома одступа од горе изнете претпоставке да све што уђе у дигестивни тракт мора бити или ресорбовано или избачено фецесом. Бактерије, наравно, нису у стању да створе и униште материју, али су способне да је прерађују, тј. оне користе једне хранљиве материје да би произвеле друге. Ако животињама дамо оброк који не садржи ни мало масти, измет ће ипак садржати одређене количине ових материја, јер ће бактерије, користећи угљене хидрате, производити масти за своје потребе. Исто тако, бактерије битно мењају аминокиселински састав хране, па се на основу аминокиселинског састава фецеса не може прецизно судити о сварљивости аминокиселина. Дакле, бактерије чине да дигестивни тракт не буде само место разградње и ресорпције, већ и синтезе и трансформације хранљивих материја. То је веома корисно за животиње, али отежава одређивање сварљивости. Да би се ово избегло, у огледима сварљивости код живине, често се користе животиње са хируршки одстрањеним слепим цревима као кључним местима бактеријске активности код живине. Такође, постоји и могућност да се сварена маса прикупља из дисталних делова танког црева и тако избегне бактеријска активност. Ово се обично код живине изводи тако што се огледне животиње усмрте, а затим се прикупи садржај из последњег дела танког црева – илеума. Код свиња се хируршки у танко црево уграђује канула, тако да се по потреби може узимати садржај из њега (слика 44). Одређивање сварљивости аминокиселина само до краја танког црева, постало је доминантно у случају свиња и живине, тако да се најбољим показатељем сварљивости сматра *SID (standardized ileal digestibility)* – стандардизована илеална сварљивост.



Слика 44. Свиња са канулом уграђеном у танко црево ради одређивања илеалне сварљивости (www.pigprogress.net).

За разлику од непреживара, код преживара микробијално варење представља кључни део варења, па не само да се не покушава избећи овај део варења, него се тај део највише испитује. Иако се код преживара микробијално варење одвија на два места, у преджелуцима и у дебелим цревима, само је варење у преджелуцима од великог интереса за истраживање, јер је много веће по обиму и одвија се пре главне зоне апсорпције хранљивих материја, танког црева. Да би се могло пратити варење у преджелуцима, често се користе животиње са буражним канулама, а да би се пратило доспевање хранљивих материја из преджелудаца у главну зону апсорпције, животиње са дуоденалним канулама. Да би се направила разлика у односу на сварљивост у цревима или кроз читав дигестивни тракт, сварљивост у преджелуцима се назива **разградивост**. Овај показатељ је важан код протеина и скроба, а нарочито су драгоцени у исхрани преживара протеини и скроб који су неразградиви, а сварљиви. Ово значи да кроз преджелуце прођу непромењени, а онда се сваре и усвоје у танким цревима.

Сварљивост код живине

Одређивање сварљивости код живине повезано је са додатним проблемима, због специфичности дигестивног тракта птица, где су путеви излучивања фецеса и урина спојени. Материје које се налазе у урину чине да сварљивост изгледа мања него што јесте. Могуће је путеве излучивања раздвојити хируршком интервенцијом, али је то захтеван процес. Постоји и могућност хемијског утврђивања мокраћне киселине, као основне азотне компоненте урина живине, али битне количине азота могу да се налазе и у другим формама. Такође, антиперисталтички покрети дебелог црева живине увлаче урин из клоаке у дебело и слепа црева, где бактерије прераде један део мокраћног азота у протеине, па је овакво раздвајање само приближно. Због тога се сварљивост протеина и аминокиселина код живине често одређује на основу илеалног садржаја. За разлику од тога, у случају енергије, не покушава се раздвајање урина од фецеса, тако да се

код живине веома ретко одређује сварљива енергија. Уместо тога, одређује се метаболичка енергија, где се енергија урина и фецеса заједно рачунају као губитак енергије.

Посебан вид испитивања сварљивости код живине, а широко распрострањен, јесте оглед са прецизно храњеним цекотомизираним петловима лаких линија. Уз мање варијације, оглед се заснива на хируршком одстрањивању оба слепа црева петлићима лаких линија, тако да се добију птице у чијем је дигестивном тракту бактеријска активност сведена на далеко нижи ниво од нормалног, што омогућава боље сагледавање сварљивости. На овако припремљеним петловима може се извести велики број огледа, што чини ове огледе много доступнијим. Петлови се пре огледа изгладњују, обично око 24 часа, а затим присилно хране, убацивањем прецизно измерене количине хране (око 30 грама) директно у вољку. Тотална колекција екскрета се затим врши наредних од 24 до 48 часова. Неколико петлова се не храни и њихов екскрет током колекционог периода сматра се ендогеним губитком и служи за корекцију привидне на праву сварљивост.

***In vivo*, *in vitro* и *in situ* одређивање сварљивости**

Основни начин испитивања сварљивости је испитивање на животињама, као што је то претходно описано. Овај начин се назива *in vivo*, односно „у живом”. Због различитих проблема везаних са огледима на живим животињама, као што су варијабилност, високи трошкови и етички проблеми, постоје покушаји да се варење симулира без живих животиња, у лабораторијским условима. Овакво испитивање се назива *in vitro*, што у буквалном преводу значи „у посуди”. Када се жели имитирати варење у желуцу и танким цревима, користе се хлороводонична киселина и ензими, најчешће пепсин. Када се жели имитирати микробијално варење, користи се буражни сок узет од живих преживара, у смеси са пуферима који помажу одржавање стабилних услова и додатком угљен-диоксида ради анаеробности средине, а таква смеша се инкубира на константној температури како би услови били слични онима у преджелуцима преживара. Апаратура која треба да направи услове за микробијално варење што сличније онима у преджелуцима, некада се назива „вештачки бураг” (слика 45). Успешност оваквих метода се проверава тако што се сварљивост истих узорака одреди *in vivo* и *in vitro*, а онда се поређењем резултата утврди да ли лабораторијска метода даје сличне резултате као испитивање на живим животињама.



Слика 45. Симулатор буражног варења, „вештачки бураг” (<http://agritech.tnau.ac.in>).

Буражно варење је од највећег значаја за исхрану преживара, али је његово одређивање велики изазов. Скупо је и тешко одређивати га *in vivo*, а тешко је имитирати један тако сложен процес *in vitro*. Због тога је развијена нарочита техника, где се посебно припремљене животиње користе као живи лабораторијски инструменти (слика 46). Хируршки се на левој гладној јами животиње направи отвор – фистула, у који се поставља направа која омогућава да се бураг по потреби отвара и затвара – канула. За овакве животиње се каже да су буражно фистулиране, односно буражно канулиране. Ово омогућава да се узимају узорци буражног садржаја, прате процеси у бурагу, али и оно што је нарочито важно, да се прати сварљивост и разградивост *in situ*, односно „на месту“, на оном месту где се тај процес и иначе одвија. Мали узорци хранива смештени у нарочите полупропустљиве кесице са тачно одређеним промером пора, убацују се у бураг и тамо задржавају различите временске периоде. На тај начин се утврђује колико брзо микроорганизми бурага варе различите хранљиве материје из различитих хранива. Ова метода омогућава да се на малом броју животиња испитује варење и разградивост хранљивих материја из великог броја хранива, а без да се животињама константно мора мењати исхрана и изводити сложени огледи са методом разлике – диференције.



Слика 46. Фистулирана крава на испашаи. Фистула омогућава одређивање буражне сварљивости и разградивости *in situ* (www.nmbu.no).

4.3. БИЛАНСНА ИСПИТИВАЊА

Док се испитивања сварљивости баве утврђивањем тога колико се хранљивих материја из хране свари и ресорбује у организму, а колико избаци фецесом, билансна испитивања иду корак даље. У овим испитивањима циљ је да се сагледа цела слика уноса, губитака и задржавања материја и енергије у организму, што ова испитивања чини још сложенијим и захтевнијим од огледа сварљивости. Биланси се не могу пратити за поједине органске хранљиве материје као што су глукоза, лизин, метионин итд., због тога што се у организму органске материје прерађују једна у другу, али и сагоревају до угљен-диоксида и воде. Дobar пример за ово су угљени хидрати. Храна за животиње се углавном састоји од угљених хидрата, али их у организму животиња има веома мало. Већина угљених хидрата се сагори ради добијања енергије за животне функције организма или се искористи за синтезу масти. Због тога, не би било могуће направити биланс угљених хидрата у организму, пошто они у организму нестају. Билансна испитивања органских материја се због тога врше преко праћења хемијских елемената који улазе у њихов састав, азота и угљеника или преко праћења биланса енергије.

Биланс азота

Преко праћења биланса азота прати се промет протеина у организму животиња. Велике количине азота из ваздуха непрестано пролазе кроз плућа животиња, али се азот у тој форми не може користити од стране животиња, па је једини извор азота за животиње азот из хране. Највећи део тог азота обично је у форми протеина, док се код преживара може користити и непротеински азот. Азот унет у организам путем хране, из организма се излучује путем фецеса, урина, производа као што су млеко и јаја, а малим делом и путем коже и длаке, као и гасовима. Азот задржан у организму у највећој мери се налази у саставу протеина, а у мањој мери у нуклеинским киселинама и другим азотним једињењима. У табели 50 приказан је биланс азота код јуница храњених оброцима са различитим нивоима протеина. У овом испитивању, праћен је унос азота путем хране и губици азота путем фецеса и урина. Губици другим путевима су занемарени као веома мали. Нпр. користећи NRC (2001) модел, губитак азота путем љуштења мртве коже за јунице масе 300 kg, може се проценити на свега око 1 g. Као што се из табеле види, губици азота фецесом су били слични код оброка са различитим нивоима протеина, али су се губици путем урина веома мењали. При исхрани са ниским нивоом протеина губици азота путем урина су били мањи од оних путем фецеса, док су при исхрани нормалним или високим нивоом протеина губици путем урина били већи од губитака путем фецеса. Када се од унете количине азота одузму излучене количине, добија се количина азота која је задржана у телу. На основу ње је приближно процењена количина протеина и меса створених из те хране. За ову процену коришћен је просечан однос од 1 g азота у 6 g протеина и 1 g протеина у 4,35 g меса. Оваква процена је само приближна јер неће сав азот бити у протеинима, нити сви протеини само у мишићном ткиву животиња.

Како губици азота путем урина чине веома велики део губитака азота, а тиме и протеина, праћење ових губитака интересантно је и за практичну исхрану. Азот је у урину већином у форми урее, а један мали део урее се код крава лучи и путем млека. На основу јефтине и доступне анализе урее у млеку може се проценити колико ефикасно краве користе протеине из хране и да ли је однос између протеина и енергије одговарајући.

Табела 50. Биланс азота код јуница храњених оброцима са различитим нивоом протеина и предвиђена синтеза протеина и прираст меса (Zanton и Heinrichs, 2009).

Сирови протеини у СМ obroка	8%	14%	20%
Унето N путем хране (g/дан)	86	149	210
Избачено N фецесом (g/дан)	45	50	51
Избачено N урином (g/дан)	27	63	106
Задржано N (g/дан)	14	36	53
Предвиђена синтеза прот. (g/дан) ¹	84	216	318
Предвиђени прираст меса (g/дан) ²	365	940	1383

¹Предвиђена синтеза прот. (g/дан) = Задржани N (g/дан) × 6

²Предвиђени прираст меса (g/дан) = Предвиђена синтеза прот. (g/дан) × 4,35

Биланс угљеника

Биланс угљеника служи за праћење коришћења органских материја у организму. Угљеник се у организам уноси путем угљених хидрата, масти и протеина, а излучује фецесом, урином, производима као што су млеко и јаја, али у највећој мери гасовима, пре свега угљен диоксидом који се избацује дисањем, преко плућа. Ово чини одређивање биланса угљеника веома изазовним због потребе за прикупљањем и анализом гасова, што се изводи у респирационим коморама или опремањем животиња мобилним уређајима за праћење количине и састава издахнутих гасова. Поред угљен диоксида, један део угљеника се код преживара губи у форми метана, што представља не само ослобађање угљеника, већ и губитак енергије. Већина угљеника која се задржи у организму, складишти се у форми протеина и масти, док је количина угљених хидрата у организму животиња прилично мала и стабилна. Са извођењем биланса угљеника, паралелно се изводи биланс азота, па се комбинацијом ова два може предвидети колико животиња ствара протеина, а колико масти. При овоме се рачуна да протеини садрже 52% угљеника, а масти 76%.

Биланси минералних материја

За разлику од органских хранљивих материја, макро и микроелементи се у организму животиње не могу ни створити ни уништити. Количина калцијума коју је животиња унела мора одговарати збиру количине коју је излучила из организма и количине која је у организму задржана. Ипак, ни истраживања коришћења неорганских хранљивих материја нису једноставна. Нарочит изазов представља то што се велике количине минерала луче у дигестивни тракт приликом варења хране, па се на основу привидне сварљивости никако не може судити о томе колико је доступан неки елемент из одређених извора. Да би се добила релативна слика о томе, користе се огледи са ретким изотопима минерала који се испитују. Ово омогућава да се у фецесу раздвоји део минерала који није искоришћен из хране од дела који је из организма излучен у дигестивни тракт. Раније су за ову намену коришћени радиоактивни изотопи, а данас се све више користе и они који нису радиоактивни.

4.4. ЕНЕРГИЈА И БИЛАНС ЕНЕРГИЈЕ

За науку о исхрани животиња, али и практичну исхрану, нарочито су значајна истраживања коришћења енергије у организму животиња. Енергија хране је гориво које покреће људе и животиње. Највећи део хране коју животиње конзумирају служи као извор енергије. Најчешће, свега 10 до 20% хране чине специфичне и незаменљиве хранљиве материје као што су витамини, микроелементи, макроелементи, есенцијалне масне киселине и део аминокиселина који се искористи за градивне сврхе, док 80 до 90% хране служи за добијање енергије. Угљени хидрати, највећи део масти, као и значајан део протеина, троше се за ову намену. Уз то, енергија се у организму животиња доста неефикасно користи и варијабилност у ефикасности коришћења је велика. Због тога укупна количина енергије у храни не говори ништа о томе колико ће та храна обезбедити енергије животињама, већ се то може утврдити само испитивањима коришћења енергије.

Шта је то енергија хране?

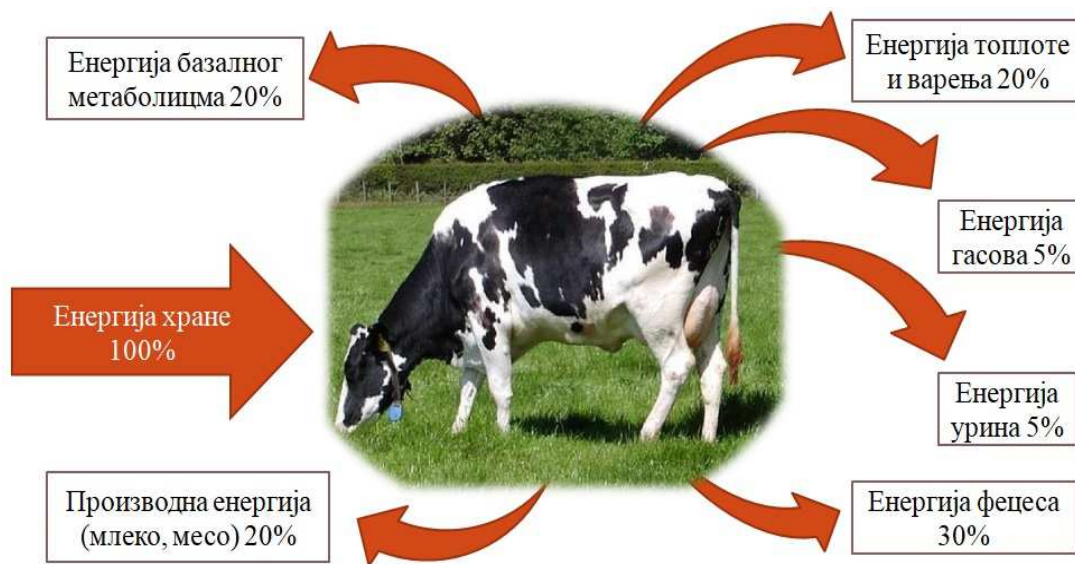
Енергија хране је хемијска енергија органских хранљивих материја: угљених хидрата, масти и протеина. Ова једињења садрже енергију сунчеве светлости коју биљке у процесу фотосинтезе „заробе“. Животиње и људи ову енергију ослобађају сагоревајући органска једињења која су унели храном и користе је за одржавање телесне температуре, обављање свих метаболичких процеса, контакције мишића, изградњу различитих производа итд. Енергија хране се може ослободити и спаљивањем. Спаљивањем хране ослобађа се иста она енергија која се ослобађа и у организму животиња, само што је у организму животиња овај процес спорији и контролисанији. Било да се килограм шећера или масти сагорева у ватри или у организму, у оба случаја биће неопходан кисеоник, у оба случаја крајњи продукти ће бити угљен диоксид и вода и у оба случаја ослобођена количина енергије ће бити иста. Разлика постоји само код сагоревања протеина, јер се један део аминокиселина, аминокиселина група, не може успешно искористити као извор енергије у организму, а при спаљивању може.

Животиње могу задовољити своје потребе за енергијом из различитих извора. Ипак, најчешће се највећи део енергије обезбеђује из угљених хидрата, а мањи део из масти и протеина. Разлози за ово су и нутритивни и економски. Домаће животиње су биљоједи и сваштоједи и већином нису добро адаптиране на коришћење протеина и масти као главних извора енергије. За разлику од тога, месоједи, као што су пси и мачке, не могу успешно користити угљене хидрате као основни извор енергије, већ морају уносити веће количине протеина и масти.

Биланс енергије

Животиње енергију добијају искључиво путем органских једињења из хране. Иако температура средине у којој се животиње налазе може утицати на то колико енергије ће животиње отпуштати у своје окружење, смештај у топлој средини не може заменити енергетске потребе животиња, а високе температуре окружења чак представљају проблем животињама јер ремете нормално ослобађање топлоте. Енергију унутру путем органских једињења хране животиње излучују органским једињењима у фецесу, урину, гасовима, млеку, јајима, вуни, али значајним делом и у форми топлотне енергије коју одају у своје окружење, грејући ваздух око себе, површину на којој леже итд (слика 47). Вишак енергије се у организму углавном складишти у форми масти, док се мале количине налазе складиштене у форми

гликогена и глукозе. Телесни протеини такође садрже енергију. Мерење енергетског садржаја хране за животиње, фецеса, урина, гасова итд. врши се њиховим спаљивањем у инструменту који се назива калориметријска бомба. Спаљивањем се енергија из органских једињења ослобађа у форми топлоте која се мери у калориметријској бомби. Добијена енергетска вредност се изражава у калоријама (cal) или џулима (J). У зависности од тога до ког степена је испраћено коришћење енергије, добијена енергија се назива укупна, сварљива, метаболичка или нето енергија.



Слика 47. Биланс енергије код музне краве.

Укупна енергија

Енергија која се ослободи потпуним сагоревањем хране у калориметријској бомби назива се топлота сагоревања, укупна или бруто енергија. Килограм угљених хидрата при сагоревању ослобађа 16 до 20 мегаџула (MJ) топлотне енергије, килограм протеина 22 до 24 MJ, а килограм масти 36 до 39 MJ. Неорганске компоненте хране не горе и не ослобађају енергију. Ако се садржај енергије посматра на природно суво храниво, тј. храниво онакво какво јесте, заједно са влагом, онда ће енергетска вредност хранива пре свега зависити од садржаја суве материје у храниву. Хранива са великим уделом суве материје као што су слама, сено, зрневље житарица итд., имаће око 16 MJ укупне енергије по килограму, а код хранива са доста влаге као што су силаже, сенаже, пивски троп, свежа трава итд., енергетски садржај ће бити много мањи. Међутим, ако се енергија изрази по килограму суве материје, готово сва хранива ће имати сличан садржај укупне енергије од око 18 MJ по kg суве материје. Само ће хранива са високим садржајем масти као што су соја или сунцокрет имати значајно већи енергетски садржај. Та уједначеност садржаја укупне енергије код хранива чија је хранљива вредност веома различита добро показује зашто се укупна енергија никада не користи за балансирање оброка животиња, већ искључиво служи као полазна тачка за рачунање других енергетских показатеља. Суштинске разлике међу хранивима

нису у томе колико укупне енергије садрже, већ у томе колико се од те укупне енергије може искористити. Укупну енергију је најлакше одредити и за то нису потребни огледи на животињама већ само калориметријска бомба. Укупна енергија је искључиво карактеристика хране, док сви наредни параметри енергије зависе и од животиња које ту храну конзумирају.

Сварљива енергија

Када се од укупне енергије хране одузме укупна енергија фецеса, добија се сварљива енергија хране. Као и у случају хране, фецес садржи органске материје, а спаљивањем фецеса у калориметријској бомби мери се количина енергије у њему. Овако добијена енергија је привидно сварљива, а ако се губици енергије фецесом умање за губитке који не потичу из хране, добија се права сварљива енергија. Сварљива енергија је, за разлику од укупне, употребљива за изражавање енергетске вредности хранива у исхрани животиња и још увек се понекад користи за балансирање смеша и оброка иако је углавном данас замењена прецизнијим показатељима, метаболичком и нето енергијом. Колико ће енергије бити изгубљено фецесом у великој мери зависи од влакана у храни и способности животиња да та влакна сваре. На пример, према истраживањима на младим и одраслим свињама храњеним смешама са различитим нивоима влакана, уочене су следеће правилности (Noblet и сар., 2003):

Сварљивост енергије, % = $97 - 0,64 \times NDF$, % (за одрасле свиње)

Сварљивост енергије, % = $98 - 0,9 \times NDF$, % (за младе свиње)

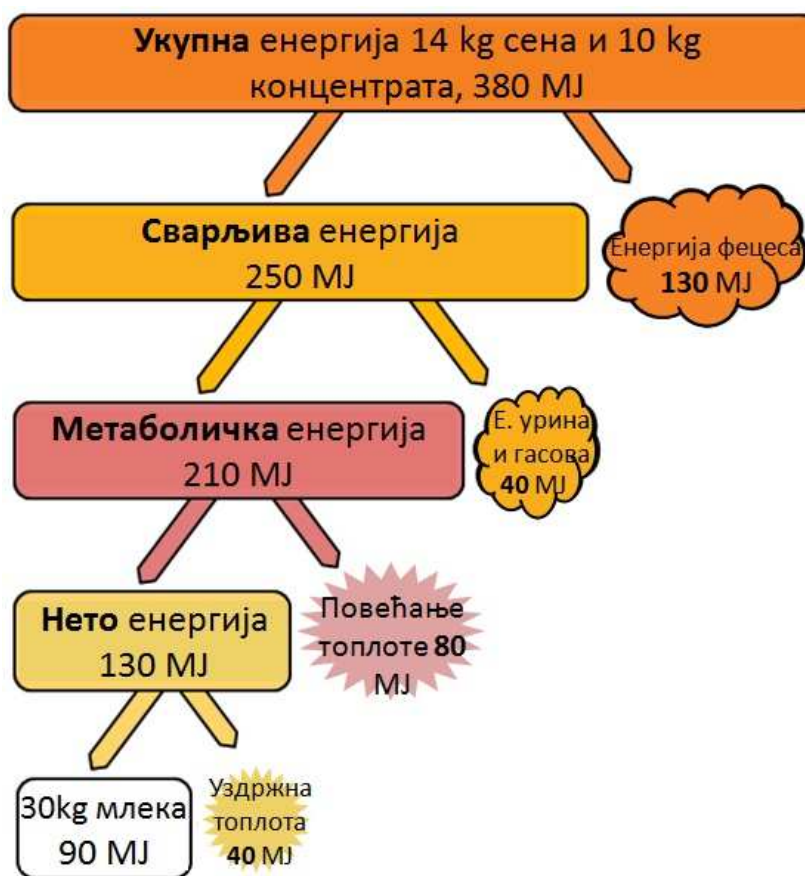
И млађе и старије свиње ће добро варити храну са мало влакана, али ће у случају влакнасте хране сварљивост енергије бити мања код млађих, а већа код старијих свиња. Слична, и још израженија правилност, може се видети поређењем између различитих врста. Зрно кукуруза и дехидрирана луцерка имају сличан садржај укупне енергије, око 16 MJ по килограму, али се веома разликују по нивоу влакана. Кукуруз, који има мало влакана, подједнако добро ће се варити и код преживара и код свиња и обезбедиће и једнима и другима око 14 MJ сварљиве енергије по kg хранива, односно, количина енергије излучене фецесом ће износити око 2 MJ по kg конзумираног хранива. За разлику од тога, луцерка, која се великим делом састоји од хемицелулозе, целулозе и лигнина, вариће се веома различито код свиња и преживара. Код свиња ће се од укупних 16 MJ енергије чак 10 наћи у фецесу, а садржај сваљиве енергије за свиње износиће свега 6 MJ/kg луцерке. Код преживара, коришћење овог влакнастог хранива ће бити значајно боље, али ипак не тако добро као у случају кукуруза. У фецесу ће завршити око 7 MJ енергије, а садржај сварљиве енергије за преживаре у дехидрираној луцерки износиће 9 MJ/kg. Код живине се садржај сварљиве енергије ретко одређује због заједничког излучивања фецеса и урина.

Метаболичка енергија

Када се од сварљиве енергије одузму губици енергије путем урина и гасова, добија се метаболичка енергија. За одређивање метаболичке енергије је дакле потребно испратити све губитке који настају у форми материје: фецеса, урина и гасова, а губици који настају у форми енергије – топлоте, овде се занемарују. Губици енергије урином обухватају органске материје у урину од којих су

најзначајније производи разградње протеина – уреја, уринска киселина итд. Колики ће бити губитак енергије путем урина зависи у великој мери од тога колико је избалансирана протеинска исхрана животиња. Ако животиње добијају превише протеина и ако је њихова аминокиселинска структура слабо избалансирана, доћи ће до повећања губитака енергије урином. Губици гасовима, пре свега метаном, повезани су са микробијалним варењем па су много израженији код преживара. Одређивање метаболичке енергије је изазовно због мерења енергије ослобођене гасовима.

Предност коју преживари имају у варењу влакнастијих хранива помоћу микроорганизама компензована је већим губицима у облику гасова и топлоте (слика 48). Губици енергије из кукуруза и дехидриране луцерке путем урина и гасова код свиња ће бити мали, око 0,5 MJ по kg хранива. За разлику од тога, преживари, због ослањања на микробијално варење имаће губитак од око 2 MJ по kg хранива у овој форми. Метаболичка енергија је најчешћи облик изражавања енергетских вредности хране за живину и свиње, мада се у исхрани свиња уз метаболичку, користе и сварљива и нето енергија.



Слика 48. Биланс енергије код музне краве која конзумира 14 kg сена и 10 kg концентрата, а производи 30 kg млека.

Нето енергија

Нето енергија је најпрецизнији енергетски показатељ, а одређивање овог показатеља захтева извођење потпуног биланса енергије. Нето енергија се добија када се од метаболичке енергије одбије повећање ослобађања топлоте до кога долази при варењу одређеног хранива и коришћењу хранљивих материја из њега. Да би се овај губитак утврдио потребно је у калориметријским коморама мерити колико енергије у форми топлоте ослобађају животиње при гладовању, а колико при исхрани одређеном храном. Разлика између ова два мерења представља губитак топлоте до кога долази због енергије која се ослобађа услед микробијалног варења и услед метаболизма везаног за варење. Као и у случају губитка гасовима, овај губитак је већи код животиња које имају интензивно микробијално варење. Тако ће код свиња губитак у форми повећаног ослобађања топлоте износити 2,5 до 3 MJ/kg хранива у случају кукуруза и дехидриране луцерке, а код преживара 3 до 4 MJ/kg. Од укупних 16 MJ бруто енергије у кукурузу, свињама ће преостати 11 MJ нето енергије, а преживарима 7,5 MJ нето енергије (табела 51). У случају дехидриране луцерке, нето енергетска вредност ће износити свега 3 MJ/kg код свиња и нешто бољих 4,5 MJ/kg код преживара. Нето енергетска вредност луцерке ће дакле бити 3,7 пута мања од нето енергетске вредности кукуруза код свиња, али свега 1,7 пута мања код преживара. Нето енергију ће животиње искористити за подмирење својих уздржних потреба, производњу различитих производа, прираст и репродукцију. На пример, просечној крави је потребно око 40 MJ нето енергије за подмирење уздржних потреба и још око 3 MJ за сваки килограм млека.

Табела 51. Биланс енергије лако сварљивог и тешко сварљивог хранива код непреживара и преживара.

	Кукуруз, зрно		Луцерка, дехидрирана	
	Свиње	Краве	Свиње	Краве
Укупна енергија	16 MJ	16 MJ	16 MJ	16 MJ
- енергија феџеса	- 2 MJ	- 2 MJ	- 10 MJ	- 7 MJ
Сварљива енергија	14 MJ	14 MJ	6 MJ	9 MJ
- е. урина и гасова	- 0,5 MJ	- 2 MJ	- 0,5 MJ	- 2 MJ
Метаболичка е.	13,5 MJ	12 MJ	5,5 MJ	7 MJ
- повећање топлоте	- 2,5 MJ	- 4,5 MJ	- 2,5 MJ	- 2,5 MJ
Нето енергија	11 MJ	7,5 MJ	3 MJ	4,5 MJ

5. КАКО ХРАНИТИ ЖИВОТИЊЕ?

Исхрана животиња је наука и пракса. Исхрана, као наука, проучава конзумирање хране, варење, усвајање и метаболизам хранљивих материја, излучивање отпадних материја, утицај хране на здравље и производњу животиња итд. Исхрана животиња, као пракса, бави се производњом хранива, нарочито кабастих, на пољопривредним газдинствима, производњом премикса и смеша у фабрикама сточне хране, анализама квалитета хране за животиње у лабораторијама итд., али пре свега храњењем животиња, односно доношењем одлука шта ће животиње да једу. Овај процес прављења рецептура се често назива састављањем, балансирањем или оптимизацијом смеша и оброка, а особе које га обављају, називају се нутриционистима за животиње. Овај процес се може поделити у три фазе:

ПРЕДВИЂАЊЕ НУТРИТИВНИХ ПОТРЕБА ЖИВОТИЊА

Да би могли предвидети потребе одређених животиња у хранљивим материјама, најпре морамо прикупити потребне информације о тим животињама. У обзир се узимају врста, раса и категорија животиње, телесна маса и телесна кондиција, количина и састав производа које животиња производи, фаза репродуктивног циклуса, смештај и микроклимат у коме се животиње налазе, али и бројни други фактори. На основу тих карактеристика, процењује се колико хране одређене животиње могу појести и колико та храна треба да садржи појединих хранљивих материја да би животиња могла да има добро здравље, адекватну производњу меса, млека или јаја, успешну репродукцију итд. Крави која дневно производи 40 kg млека требаће много више хранљивих материја него крави која производи 20 kg млека. Мангулица која депонује велике количине масти неће имати исте нутритивне потребе као савремене меснате свиње. Шилежице намењене за приплод и шилежице намењене за тов захтеваће различите количине хранљивих материја и енергије.

ОЦЕНА КВАЛИТЕТА ХРАНЕ

Као што су животиње које хранимо међусобно различите, тако је исто различита и храна којом их хранимо. Ливадско сено са два различита подручја, пшеница из две различите године, сенажа луцерке из два различита откоса, силажа кукуруза са две различите парцеле, зрно кукуруза од два различита хибрида, често могу имати веома различите нивое хранљивих материја. **Варијабилност је један од основних закона живог света.** Не само да састав хранива може варирати, него чак ни смеше или премикси намењени за исхрану исте врсте и категорије животиња, а произведени од стране два различита произвођача, никада неће бити идентични. Због тога је веома важно посветити пажњу добијању информација о квалитету хране која је доступна за исхрану животиња у погледу садржаја појединих хранљивих материја, али и евентуалног присуства различитих штетних материја у храни. Цена хране је такође од великог значаја у процесу састављања оброка за животиње.

УСКЛАЂИВАЊЕ ХРАНЕ СА ПОТРЕБАМА ЖИВОТИЊА

Када имамо све потребне информације о животињама које хранимо и храни коју можемо користити за њихову исхрану, преостало је да ускладимо оброке животиња са њиховим потребама. Ово се обично постиже комбинацијом већег броја

различитих хранива, у тачно одређеним односима. Број могућих начина на које се животиње могу успешно хранити је велики, али се приликом оптимизације obroка од свих тих могућих решења тражи само једно. Како је сточарство привредна активност, и за циљ има стварање добити, тј. профита, **циљ нутриционисте је да нађе решење које ће дати најбоље економске резултате**. Најчешће се примењује приступ минимизације цене исхране, такозвана лист кост (*least cost*) оптимизација, где се тражи она комбинација хранива која ће задовољити све нутритивне потребе животиња, а при томе имати што нижу цену. Пошто је животињама потребан велики број различитих хранљивих материја и обично је доступан велики број различитих хранива, овај поступак је математички веома захтеван и данас се најчешће изводи уз помоћ рачунара.

5.1. ПРЕДВИЂАЊЕ НУТРИТИВНИХ ПОТРЕБА ЖИВОТИЊА

Животиње немају потребе у хранивима (кукурузу, јечму, соји...), већ **потребе у хранљивим материјама** (лизину, калцијуму, витамину А...). Коњи се могу успешно хранити са или без овса, свиње се могу товити са или без кукуруза, краве се могу хранити са или без сена, овце се могу и не морају напасати итд. Битно је да оброк задовољава њихове нутритивне потребе. Потребе различитих врста и категорија домаћих животиња су често веома сличне или чак идентичне у квалитативном погледу, али могу веома да се разликују у квантитативном погледу, односно, домаће животиње се не разликују много по томе које хранљиве материје су им потребне, већ пре свега по томе колико им је неопходно појединих хранљивих материја.

Разлике у квалитативном погледу пре свега постоје између преживара и непреживара, док неки биљоједи непреживари, као што су коњи и кунићи, могу бити у одређеним погледима веома слични преживарима. У исхрани преживара, огроман значај имају микроорганизми (бактерије, гљивице и протозое) који насељавају преджелуце, па се исхрана преживара може посматрати великим делом као снабдевање буражног екосистема хранљивим материјама. Овај екосистем обезбеђује преживарима варење влакана, претварање једних аминокиселина у друге, могућност синтезе протеина уз коришћење непротеинских извора азота, хидросолубилне витамине и витамин К. Због тога је исхрана преживара у одређеним погледима једноставнија од исхране непреживара. Могу се користити хранива са више влакана, не мора се водити много рачуна о аминокиселинском саставу протеина и количини хидросолубилних витамина и витамина К, може се користити непротеински азот. Међутим, специфичности буражног варења намећу неке додатне потребе у исхрани преживара у односу на потребе непреживара. Пре свега, преживари имају потребу за крупним влакнастим честицама. За задовољавање ове потребе користе се кабаста хранива. Иако и код непреживара физичка структура хране (нпр. пелетирана или непелетирана храна) може имати утицаја на животиње, код преживара су крупне влакнасте честице неопходност и ово прави суштинску разлику између исхране преживара и непреживара. Непреживари се данас најчешће хране смешама (концентратима) које садрже све потребне хранљиве материје и уз додатак пијаће воде задовољавају све нутритивне потребе ових животиња. На фармеру је често само да изабере од ког произвођача ће куповати смешу и да одреди хоће ли је давати у ограниченим количинама или по вољи. За разлику од тога, преживари се не могу хранити само смешама, већ захтевају и кабаста хранива.

Квантитативне разлике у потребама између животиња последица су разлика у телесној маси и кондицији, количини и саставу производа које производе, ефикасности варења хране и коришћења хранљивих материја, брзини метаболизма, здравственом стању, условима у којим се животиње држе итд. Ове разлике могу бити веома изражене унутар исте врсте. На почетку тога, ћурићима је неопходна храна са 28% сирових протеина, а на крају тога смеша са свега 16% протеина. Крави која дневно даје 40 kg млека потребно је 4 300 g протеина, а крави која даје 10 kg млека свега 1 600 g.

ШТА ЈЕ ПРЕДВИЂАЊЕ НУТРИТИВНИХ ПОТРЕБА ЖИВОТИЊА?

Предвиђање нутритивних потреба је процес у коме нутриционисти на основу података о животињама доносе одлуке које количине или који нивои хранљивих материја су потребни у њиховој исхрани. На пример, потребе у сировим протеинима за мушку јунад Сименталске расе, тешку 300 kg, од којих се очекује дневни прираст од 1500 грама дневно, биће процењене на око 950 грама сирових протеина дневно или 13,5% сирових протеина у сувој материји obroка. Под потребама се подразумева она количина или ниво хранљиве материје који ће омогућити животињи добро здравствено стање, максимално испољавање производног потенцијала и добар квалитет производа. „Потребна“ количина хранљивих материја често није неопходна самим животињама. Јунад би успешно преживљавала и са obroком који садржи мање од 13,5% протеина, али њихов прираст, квалитет добијених полутки, утросак хране за килограм прираста и економичност производње не би били онакви какве желимо.

ЗАШТО ЈЕ ВАЖНО ПРЕДВИЂАЊЕ НУТРИТИВНИХ ПОТРЕБА ЖИВОТИЊА?

Прецизна процена нутритивних потреба животиња изузетно је важна у савременом сточарству. Разлози за ово су нутритивни и економски. Ако се животиње хране са недовољном количином неке хранљиве материје, доћи ће до смањења производње, лошијег квалитета производа, нарушавања здравственог стања, а у екстремним случајевима и смрти. До истих проблема може доћи и при исхрани са сувишним количинама хранљивих материја. Велики број хранљивих материја може бити токсичан ако се уноси у претераним количинама. Како је дефинисао Парацелсус, који се сматра оснивачем токсикологије: „Све је отровно и ништа није безопасно, само је доза оно што ствари чини неотровним“. Ова мисао се често скраћује на: „Доза чини отров“, и основни је закон токсикологије. Са повећањем производног потенцијала животиња, расту и њихове потребе за хранљивим материјама, али не расте, или се чак смањује, њихова толеранција на токсичне нивое хранљивих материја. Због тога је прецизна исхрана све важнија.

Други разлог зашто је прецизна процена нутритивних потреба важна је економски, и можда је чак и важнији од првог. Исхрана чини највећи део трошкова већине сточарских производњи и изузетно је важно избећи непотребне трошкове. Ово је нарочито важно код скувих хранљивих материја, као што је протеин и код енергије која је такође веома скупа. Један проценат протеина више од неопходног у исхрани 100 музних крава за годину дана направиће огромну штету. Насупрот томе, код хранљивих материја које су јефтине, предвиђање потреба није од великог значаја, али само ако је и ризик од тровања мали. Најбољи пример овакве хранљиве материје је вода.

КАКО СЕ ПРОЦЕЊУЈУ НУТРИТИВНЕ ПОТРЕБЕ?

Приликом процене нутритивних потреба нутриционисти се могу служити поступцима који се драстично разликују у сложености. У случају исхране хибридних товних пилића, нутрициониста ће се најчешће ослањати на нивое хранљивих материја дефинисане од стране компаније која производи дати хибрид. Захваљујући великим репродуктивним могућностима живине (велики број потомака и кратак међугенерациски интервал), бројлерски пилићи су готово стандардизован производ. Неколико великих компанија обезбеђује приплодни материјал од кога се добијају сви хибридни товни пилићи у свету. Такође, ови пилићи се обично гаје на стандардизован начин, у условима контролисаног микроклимата (изузетак може представљати период летњих врућина). Због тога, њихове нутритивне потребе су веома уједначене и добро испитане, па нема много дилема око питања које нивое хранљивих материја им треба обезбедити у храни. Насупрот бројлерским пилићима, музне краве су пример веома неуједначених животиња. Због споре репродукције и малог броја потомства по једној плоткињи, као и коришћења расних, а не хибридних животиња, за производњу крављег млека се користе животиње које се међусобно веома разликују па многим карактеристикама, а пре свега по предиспозицији за производњу млека. Такође, оне се држе на различите начине и у различитим условима. Музне краве се могу држати везане где је њихова физичка активност сведена на минимум, али и напасати на сиромашним планинским пашњацима где крава сваки дан треба да превали велике удаљености, често и по стрмом терену, што веома утиче на њене нутритивне потребе. Због тога је немогуће одредити универзалне потребе за музне краве, чак и у оквиру исте расе. Потребности за краве се у савременој исхрани одређују помоћу математичких модела чија сложеност често захтева коришћење рачунара приликом одређивања потреба. У обзир се узима раса краве, телесна маса, телесна кондиција, фаза производног циклуса (део лактације или засушења), репродуктивни статус, дневна производња млека и његов састав, жељена промена телесне кондиције итд. Чак и количина и састав хране коју животиње конзумирају утиче на њихове нутритивне потребе, па ово ствара неугодну ситуацију где за састављање оброка треба утврдити потребе животиње, а за процену потреба је неопходно знати какав ће оброк животиње конзумирати.

Процена конзумације или уноса хране, обично је први и веома осетљив корак у процени нутритивних потреба. Већина животиња се храни по вољи, тј. доступна количина хране им се не ограничава. У оваквим условима конзумација, тј. колико ће хране унети, зависиће од саме животиње и хране коју животиња конзумира. Конзумација је веома битна у исхрани животиња јер представља везу између потреба изражених на одређени временски период, најчешће дан, и потреба изражених као удео у храни, најчешће по килограму хране, по килограму суве материје хране или у масеним уделима („у процентима“). Ако је крмачи која доји прасад потребно 900 грама протеина на дан, а конзумација износи 6 килограма хране на дан, потребан удео протеина у храни биће 15% ($0,9 \text{ kg} / 6 \text{ kg} = 0,15 = 15\%$). Ако се конзумација из неког разлога (високе температуре) смањи на 5 kg дневно, истој крмачи ће бити потребна храна са 18% протеина ($0,9 \text{ kg} / 5 \text{ kg} = 0,18 = 18\%$). Ако се конзумација не процени адекватно, унос хранљивих материја ће бити мањи или већи од жељеног, а грешка у процени конзумације ће се одразити на све хранљиве материје. Поред процене конзумације, важна је и њена редовна контрола. Добро избалансиран оброк постаће неадекватан ако животиње буду уносиле мање или више хране него што смо предвидели. Конзумација се код животиња које се

хране сувом храном, која не варира много у погледу садржаја влаге, уобичајно изражава у грамима или килограмима такве хране на дан. Нпр. ако кажемо да свиње у тову дневно конзумирају храну у количини једнакој 3% од њихове телесне масе, то значи да ће свиња од 60 kg дневно конзумирати 1,8 kg хране рачунајући у то и малу количину влаге која се у тој храни налази. За разлику од тога, у исхрани преживара конзумација се изражава у килограмима суве материје. Разлог је тај што се у исхрани преживара веома често користе хранива која се веома разликују по влажности. Свеж репин резанац има око 10% СМ, испаша око 20% СМ, силаже око 30% СМ, сенаже око 50% СМ, а сено и друга сува хранива око 90% СМ. Ако крава конзумира 15 килограма СМ дневно, то може бити 17 kg суве хране, 30 kg сенаже, 50 kg силаже или 75 kg свеже траве.

Процена потреба је обично једноставнија за јефтиније хранљиве материје, а сложенија за енергију и протеине. Често се при процени одвојено израчунавају различите компоненте потреба, а онда се њиховим сабирањем добијају укупне потребе. Део потреба који служи одржавању организма назива се **уздржне потребе**, а део који служи стварању меса, млека, јаја, вуне итд., **производне потребе**. Потребе за репродукцију се могу издвојити као посебна компонента или уврстити у производне потребе. Није увек могуће јасно раздвојити шта спада у уздржне, а шта у производне потребе.

Пример прорачуна потреба

Прорачун потреба говеда млечних раса у натријуму према препорукама америчког Националног истраживачког већа (NRC, 2001) је пример умерено сложеног поступка процене потреба. На основу карактеристика животиња, услова у којима се налази, њене производње и репродуктивног статуса прорачунавају се поједине компоненте потреба у усвојивом натријуму, а онда се та количина помоћу коефицијента апсорпције прерачунава у потребе у укупном натријуму. Примери за прорачун ће бити јуница тешка 300 kg која прираста 0,7 kg дневно и крава тешка 600 kg која производи 30 kg млека и налази се у условима високе температуре од преко 30°C.

Уздржне потребе у усвојивом натријуму рачунају се као 3,8 g на 100 kg телесне масе за краве у лактацији и 1,5 g на 100 kg телесне масе за остала говеда. Ова количина натријума неизбежно се сваки дан губи из организма и мора се надокнадити из хране да би количина натријума у организму остала иста. Код крава у лактацији ова количина је више него двостуко већа у односу на друга говеда због много обимнијег варења и много обимнијег метаболизма хранљивих материја, а што је повезано са великим уносом хране и производњом млека. Уздржне потребе грла се увећавају при високим температурама амбијанта, због губитака који настају знојењем. При температурама преко 30°C ово повећање износи 0,5 g на 100 kg телесне масе. Тако ће уздржне потребе за јуницу тешку 300 kg у термонеутралним условима износити 4,5 g усвојивог натријума на дан, а уздржне потребе краве тешке 600 kg при високим температурама износиће 25,8 g.

Производне и репродуктивне потребе износиће 1,4 g усвојивог натријума по килограму прираста телесне масе, за грла која расту, 0,63 g по килограму млека, за грла у лактацији и 1,39 g дневно за стеона грла од 190-ог дана стеоности до телења. Ове количине натријума одговарају депонованим количинама натријума у прирасту, млеку и фетусу. За јуницу која прираста 0,7 kg на дан и није стеона, износиће 1 g, а за краву која даје 30 kg млека и такође није стеона, износиће 18,9 g.

Збир уздржних и производних потреба даће укупне потребе у усвојивом натријуму, 5,5 g за јуницу и 44,7 g за краву. Како је усвојивост или апсорпција натријума код говеда процењена на 90%, потребе у укупном натријуму ће се добити дељењем потреба у усвојивом натријуму са 90/100. За јуницу ће износити $5,5g / 0,9 = 6,1g$, а за краву $44,7g / 0,9 = 49,7 g$ натријума. Ова количина натријума у њиховим дневним оброцима сматра се потребном за нормално функционисање, максималну производњу и добро здравље, па се не сме десити да натријума у оброцима буде мање од ових потреба. Са друге стране, говеда добро подносе вишак натријума, а извори натријума су прилично јефтине, па се може дати и нешто више натријума од потреба, без страха од негативних ефеката на здравље и производњу, а уз готово занемарљиве трошкове.

5.2. ОЦЕНА КВАЛИТЕТА ХРАНЕ ЗА ЖИВОТИЊЕ

ШТА ЈЕ ОЦЕНА КВАЛИТЕТА ХРАНЕ?

Оцена квалитета хране је састављена од низа поступака који за циљ имају да стекнемо што бољу слику о хранивима и смешама која имамо или планирамо купити. И без оцене, ми већ знамо много о хранивима. Знамо да сено луцерке, ако је добро осушено, има око 12% влаге и 88% суве материје, да има просечно око 16% протеина, најчешће 40 до 50% неутралних детерџентских влакана (NDF) са релативно високим уделом лигнина, доста калцијума итд. Оцена квалитета хранива нам омогућава да сазнамо прецизније податке о конкретном сену луцерке које имамо. Колико тачно има протеина? Колико је влажно? Колики је садржај NDF-а у њему? Оцена квалитета хранива је основа за квалитетну и рационалну исхрану животиња. Када желимо да направимо рецептуру по којој ће бити храњене животиње, морамо што боље сагледати потребе животиња које треба да хранимо, са једне стране и квалитет хране коју имамо на располагању, са друге стране. Након тога, преостаје да усагласимо квалитет хране са потребама животиња.

Оцена квалитета хране се изводи у три корака: узорковање хране, анализа хране и тумачење резултата анализа. Неке од анализа могу извести сами фармери на лицу места, користећи своја чула (сензорне или органолептичке анализе), док је за већину анализа потребна посебна опрема и обучено особље, па се оне врше у лабораторијама за храну за животиње. Постоје и мобилни апарати за брзе анализе хранива који омогућавају анализирање бројних параметара квалитета и ван лабораторија. Иако су анализе централни корак у оцени квалитета хранива, то не смањује значај друга два корака. Лабораторија ће за фармера утврдити квалитет достављеног узорка, али фармер мора знати како да правилно узоркује храну и како да адекватно протумачи добијене резултате.

ЗАШТО ЈЕ ВАЖНА ОЦЕНА КВАЛИТЕТА ХРАНЕ?

Оцена квалитета хране је веома важна зато што **квалитет хране варира**. Када би производи којима хранимо животиње, као што су зрно кукуруза, пшеничне мекиње, сојина сачма итд., увек били истог састава, оцена квалитета хране не би била потребна. Међутим, пошто сојина сачма може имати мање или више протеина, пшеничне мекиње мање или више целулозе, зрно кукуруза може и не мора бити контаминирано афлатоксином, оцена квалитета хранива је од изузетног значаја у савременој исхрани животиња.

Пример значаја оцене квалитета хранива

У табели 52 је приказана варијабилност састава три честа кабаства хранива у Војводини, сена луцерке, сенаже луцерке и силаже целе биљке кукуруза. Подаци су узети из базе анализа Лабораторије за контролу квалитета хране за животиње и анималних производа Пољопривредног факултета у Новом Саду и обухватају петогодишњи период, од 2009. до 2014. године. Приказана су три битна параметра квалитета, протеин (сирови протеин), влакна (неутрална детерџентска влакна, NDF) и енергија (нето енергија за краве у лактацији, НЕЛ). Протеини и NDF се добијају директним хемијским анализама, а НЕЛ се добија рачунски на основу протеина, влакана и других анализа хране. Поред просечних вредности за свако храниво, приказан је и просек 10% најбољих узорака, као и просек 10% најслабијих узорака. Све вредности су исказане на суву материју. Из табеле видимо да су сено и сенажа луцерке веома варијабилни у погледу садржаја протеина, док су сва три хранива веома варијабилна у погледу садржаја влакана и енергије.

Табела 52. Варијабилност састава честих кабастих хранива.

Храниво	Квалитет	Протеин, % СМ	NDF, % СМ	НЕЛ, MJ/kg СМ
Сено луцерке	Најбољих 10%	21	46	4,9
	Просечно	18	50	4,4
	Најслабијих 10%	15	59	3,5
Сенажа луцерке	Најбољих 10%	23	35	5,7
	Просечно	20	44	4,8
	Најслабијих 10%	16	54	3,8
Силажа целе биљке кукуруза	Најбољих 10%	8	35	6,5
	Просечно	8	44	5,8
	Најслабијих 10%	7	50	5,1

У табели 53 су приказани очекивани резултати исхране музних крава са три obroка који на папиру изгледају потпуно исто. Сва три се састоје од 20% сена луцерке, 20% сенаже луцерке и 60% силаже целе биљке кукуруза, изражено на суву материју. Иако су ова три obroка наизглед истог састава, добићемо потпуно различите резултате у зависности да ли су хранива просечног, најбољег или најслабијег квалитета. Као прво, квалитет хранива, а посебно ниво влакана у њима, утицаће на то да ли ће животиње јести мање или више хране. Кабаства хранива са много NDF-а захтевају много жвакања при конзумацији и преживању, споро се варе и дуго попуњавају бураг, па ће због тога конзумација бити ниска. Ово ће додатно појачати разлике у квалитету приказане у Табели 51. Због тога ће количина протеина и енергије коју ће краве добити при исхрани најквалитетнијим кабастим хранивима бити готово двоструко већа од количине протеина и енергије коју ће добити при исхрани најслабијим кабастим хранивима. Када се од унете количине хранљивих материја одбије количина која је потребна за одржавање организма (уздржне потребе), на основу преостале количине хранљивих материја може се предвидети производња. У овом примеру, просечна кабаства хранива обезбеђују довољно енергије за 13-14 kg млека, најбоља хранива за 22-24 kg млека, а најслабија за свега 5-8 kg млека. Део потреба за хранљивим материјама који се не може подмирити из кабастих хранива, мора се обезбедити из смеши

концентрованих хранива, концентрата. Колики додаток концентрата је потребан његовим кравама, фармер може знати само уз добру оцену квалитета кабастих хранива.

Табела 53. Утицај квалитета хранива на конзумацију и производњу.

Квалитет кабастих хранива	Конзумација суве материје	Дневни унос		Могућа производња млека на бази	
		Протеина	Енергије	Протеина	Енергије
Најбољих 10%	21 kg	2900 g	126 MJ	22 kg	24 kg
Просечно	17 kg	2100 g	90 MJ	14 kg	13 kg
Најслабијих 10%	15 kg	1600 g	68 MJ	8 kg	5 kg

Приликом прављења рецептура за смеше и оброке за животиње често се користе просечне вредности. У табелама које можемо наћи у књигама о исхрани или на интернету, пронаћи ћемо да зрно кукуруза просечно има 8% протеина, луцерка 16%, сојина сачма 44% итд. Ослањањем на ове бројеве добићемо рецептуру која је приближно добра у већини случајева, али ће ипак постојати значајан ризик да таква рецептура неће резултирати храном онаког састава какав желимо. У неким случајевима квалитет наших хранива ће одговарати просеку, некада ће бити лошији, а некада бољи. Када су наша хранива лошијег квалитета, а ми се ослонимо на просечан квалитет из табела, животиње ће трпети дефиците хранљивих материја, што ће резултирати смањењем производње, нарушавањем здравља животиња и, последично, лошијим економским резултатима. Чак и када су наша хранива боља од просека, а ми нисмо свесни њиховог квалитета, опет ћемо бити на губитку зато што ћемо хранити животиње непотребно високим нивоима хранљивих материја и тако непотребно расипати средства. Иако никада не можемо постићи стопостотну сигурност и елиминисати све ризике, **оцена квалитета хранива нам омогућава већу сигурност и економичност у исхрани животиња.**

Трошкови исхране животиња обично чине највећи део трошкова сточарске производње. У исхрану се најчешће улаже више средстава него у смештај животиња, репродукцију, оплемењивање и лечење заједно. Због огромних трошкова исхране, јако је важно доносити исправне одлуке приликом трговине храном за животиње. Оцена квалитета хранива нам може помоћи да избегнемо погрешне куповине и не пропустимо оне праве. Ако један продавац нуди сено луцерке по цени од 14 динара по килограму, а други по цени 17 дин/kg, не мора значити да је куповина од првог продавца исправан пословни потез. **Пре куповине треба оценити квалитет хранива** и упоредити квалитет и цену сваког од понуђених хранива, па се одлучити за оно које има најбољи однос цене и квалитета. За ово је развијено више метода, као што су метод на бази суве материје, метод на основу барометар хранива, метод линеарног програмирања и метод максималне веродостојности (Гламочић, 2002).

5.2.1. УЗОРКОВАЊЕ ХРАНЕ ЗА ЖИВОТИЊЕ

Шта је узорковање хране за животиње?

Узорковање је први и веома важан корак у оцени квалитета хране за животиње. Узорковање је процес у коме се из укупне количине неке хране за животиње издваја један мали део који ће се користити за анализе. Нпр. да би се сазнао

квалитет неколико десетина тона сена, на анализе се шаље свега пола килограма овог хранива. На основу састава тих 500 грама донеће се суд о саставу хиљада бала сена. Због тога, узорак треба да веродостојно представља целокупну количину хранива. Узорковању треба посветити велику пажњу.

Зашто је значајно узорковање хране за животиње?

Иако може деловати да је узорковање много простије и мање важно од самих анализа хране, грешке у узорковању често представљају највећи проблем у целом процесу оцене квалитета хране. Разлог зашто је то тако је управо привидна једноставност узорковања. За разлику од анализа које захтевају одговарајућу опрему, обученост и време, узорак наизглед може узети било ко и било како. Међутим, тако узет узорак често неће бити репрезентативан, тј. неће поуздано представљати целокупну количину неке хране за животиње.

Уобичајне анализе хране за животиње, зависно од параметра који се одређује, обично коштају од више стотина до више хиљада динара. Ако узорак који је послат на анализу не представља адекватно сточну храну чији квалитет нас занима, резултати тих анализа ће бити потпуно безвредни, односно, изгубићемо уложени новац. Осим тога, на истом узорку се обично изводи већи број анализа, па су штете услед неадекватног узорковања вишеструке. Са друге стране, адекватно узорковање често не захтева друга улагања осим људског рада и пажње. Вреди ли ризиковати више хиљада или десетина хиљада динара уложених у анализе због једног или два часа пажљивог рада, који не коштају више од неколико стотина динара?

Како се обавља узорковање хране за животиње?

Узорковање хране за животиње за службене потребе, као на пример приликом увоза хране или у процесу рекламације купљене хране, прецизно је регулисано правним актима. Прописан је поступак, опрема, број и маса узорака, вођење записника о узорковању итд. У Републици Србији, дуго је на снази Правилник о методама узимања узорака и методама физичких, хемијских и микробиолошких анализа сточне хране (Службени лист СФРЈ, бр. 15, 1987), а очекује се усклађивање са Регулатором о методама узорковања и анализа за службену контролу хране за животиње Европске Уније (ЕС 152/2009). Приликом узорковања хранива за контролу која није службена, узорковање се не мора изводити стриктно према правним прописима, али је важно да се испоштују исти основни принципи који обезбеђују да се добије репрезентативан узорак. Овде ће бити описано како фармери треба да врше узорковање за сопствене потребе, а детаљи узорковања за службене потребе могу се наћи у наведеним правним актима.

Процес узорковања почиње идентификовањем циљних група за узорковање, затим се узимају појединачни узорци који се хомогенизују у збирне узорке из којих се на крају издвајају коначни узорци, који се шаљу на анализе.

Једна циљна група за узорковање (партија, лот) је она количина хранива коју посматрамо као једно, тј. знамо да има исто порекло, претпостављамо да је истог квалитета и користимо је у исхрани животиња на исти начин. Узорак треба да представља целокупну количину хране за животиње обухваћену једном циљном групом. Смеша произведена у једној шаржи, сено из истог откоса и са исте парцеле, сојина погача набављена од једног добављача представљају једну циљну групу. Важно је овакве циљне групе држати одвојене и јасно обележене. Ово је важно не само ради узорковања, већ и због коришћења ових хранива. Први корак у узорковању хране за животиње је да утврдимо циљне групе.

Првобитни узорци који се издвајају из укупне количине хране, називају се појединачни узорци. Њихово издвајање се може, зависно од карактеристика хране која се узоркује, обављати руком или помоћу различитих сонди. Јако је важно је да се појединачни узорци хране за животиње узимају из целокупне количине те хране, тј. из целе циљне групе, методом случајног избора, односно тако да сваки део хране има подједнаку шансу да буде узоркован. Такође, **јако је важно да се узме велики број појединачних узорака**, најмање десетак, а много боље двадесет или више. Да би олакшали избор места са којих ће се узети појединачни узорци, може се применити одређено правило, али тако да оно не нарушава случајност узорковања. Нпр. код узорковања из цакова, може се узимати узорак из сваког десетог цака, а код узорковања силаже, може се пратити путања узорковања у облику слова W која омогућава да се узорци узму из свих слојева силаже.

Ако постоји местимична промена квалитета код хране за животиње која се узоркује, нпр. појава плесни у горњем слоју силаже, поставља се питање како поступити у таквом случају. Да ли узорковати храниво и из тог дела или прескочити тај део приликом узорковања? Најбоље решење је да се уради исто што се ради и при храњењу животиња, односно, ако се при храњењу води рачуна да се део хране који је измењеног квалитета одбаци, онда исто треба урадити и при узорковању. Ако то није случај, треба узорковати и тај део. Тако ће се у оба случаја добити узорак који ће веродостојно представљати храну којом се животиње хране.

Након прикупљања појединачних узорака они се спајају и мешањем хомогенизују у збирни узорак. Ово се најчешће обавља ручно, без нарочите опреме, на чистој површини или у чистој посуди. **Након хомогенизације, из збирног узорка се издваја коначни, најчешће методом четвртања.** Збирни узорак, формиран у облик купе или пирамиде, дели се дијагонално на четири једнака дела, који се наизменично задржавају или одбацују. Од два задржана дела, формира се нова купа или пирамида и поступак се понавља до добијања коначног узорка. Маса коначног узорка би најчешће требала бити око пола килограма, али за неке анализе је потребна већа количина, па је најбоље контактирати лабораторију за информације о потребној количини узорка. Коначни узорак се пакује у чисту врећу, јасно се обележи и тако шаље на анализу. Добро је оставити један додатни узорак у случају потребе за додатним анализама. У случају лако кварљивих хранива, као што је силажа, приликом паковања треба што боље истиснути ваздух, а ако се овакви узорци дуже чувају, треба их чувати у замрзивачу. Узорке код којих лако може доћи до сепарације појединих компоненти, као што је сено луперке, добро је самлети и слати у лабораторију у самлевроном стању.

Како се узимају појединачни узорци?

Узимање појединачних узорка се често назива узорковање, као и читав процес којим се долази до коначних узорака. Најбоље је обављати га сондама за узорковање, али се и у недостатку сонди узорковање може адекватно обавити за већину хране за животиње. Узимање узорака је лакше за храну која је физички хомогена, као нпр. немлевено зрно кукуруза, пелетиране готове смеше, а теже за храну која се састоји од компоненти које се разликују по физичким карактеристикама, као што је чест случај са кабасти хранивима. Сено луперке се састоји од две основне компоненте које се веома разликују, како по својим хемијским, тако и по својим физичким карактеристикама, стабљика и лишћа. Стабљике су састављене највећим делом од влакана, имају мало протеина, дуге су и чврсте. Насупрот томе, лишће је богато протеинима, има мало влакана, ситније је,

лако отпада са стабљика и лако се круни у ситне честице. Због тога при узорковању сена лако може доћи до неадекватних узорака у које је ушло више лишћа или више стабљика. Исто тако, силажа целе биљке кукуруза се састоји од честица различите величине, од чега су крупније честице обично делови стабла богатог влакнима, а ситне честице делови разбијених зрна кукуруза, богатих скробом. Зато се при узорковању силаже руком препоручује да рука буде окренута дланом на горе, како би се све захваћено задржало на руци. Ако силажу захватимо руком од горе (са дланом окренутим на доле), доћи ће до испадања ситних честица што може негативно утицати на репрезентативност узорка.

Опрема за узорковање хране за животиње

Постоји широк спектар опреме за узорковање хране за животиње, а најчешће се за ту потребу користе сонде. Сонде су обично металне цеви различите дужине које омогућавају да се храна узме по дубини, односно из више слојева. Сонде за концентрована хранива омогућавају да се узорак хране из нпр. тракторске приколице узме како са врха приколице, тако и из средњег слоја и дна, или да се узорак хране узме из целог паковања равномерно, а не само са врха вреће. Сонде за концентрована хранива су најчешће једноструке цеви са прорезима или двоструке цеви код којих се ротирањем цеви прорези отварају и затварају (слика 49).



Слика 49. Сонда за узорковање концентрованих хранива (www.ar-pear.com).



Слика 50. Узорковање сена сондом и електричном бушилицом (www.ag.ndsu.edu).

Узорковање кабастих хранива је додатно сложен изазов у односу на узорковање концентрованих хранива. Кабаста хранива се састоје од крупнијих честица које

сонда мора да сече не доводећи при томе до раздвајања појединих компоненти (лист и стабљика) или до цеђења влаге код влажних хранива (нпр. силаже). За ову намену је развијен већи број сонди, којима је заједничко да имају сечиво на врху, а узорковање се може вршити ручним окретањем сонде, монтирањем сонде на електричну бушилицу (слика 50) или сонда може имати сопствени погон.

5.2.2. СЕНЗОРНА ОЦЕНА ХРАНЕ ЗА ЖИВОТИЊЕ

Шта је сензорна оцена?

Сензорна или органолептичка оцена је оцена која се врши без нарочите опреме, а помоћу људских чула. Користе се чула вида, мириса, додира, а понеки предани оцењивачи укључују и чуло укуса. Квалитет органолептичке оцене веома зависи од обучености и искуства оцењивача. Сва лица која учествују у исхрани животиња морају бити упозната макар са основним елементима сензорне оцене и морају континуирано водити рачуна о ризицима за исправност хране за животиње који се могу уочити без нарочитих анализа, као што су присуство различитих примеса у храни, кварење хране услед појаве плесни, непријатни мириси, промене боје и слично. У овом погледу, сензорна оцена је незаменљива. Осим тога, стручњаци обучени за сензорну оцену могу, користећи своја чула, дати доста детаљну и квалитетну оцену појединих хранива, али за такву оцену је потребна обученост и велико искуство.

Зашто је значајна сензорна оцена?

Сензорна оцена свакако не може да пружи тако квалитетне информације о саставу и исправности хране за животиње као што то могу лабораторијске инструменталне анализе, али и сензорна оцена има низ својих предности, које је чине неизоставном компонентом у процесу контроле квалитета хране за животиње. За разлику од лабораторијске опреме, људска чула носимо са собом свуда где идемо и можемо их лако, брзо и бесплатно употребити. Сензорна оцена треба да представља прву анализу хранива, а када она није довољна треба је допунити лабораторијским анализама. Сензорна оцена често може бити довољна да се уверимо да неко храниво није исправно. Насупрот томе, добра сензорна оцена није доказ да је са хранивом све у реду, јер често постоје проблеми који се органолептички не могу уочити.

Како се обавља сензорна оцена хране за животиње?

При сензорној оцени, користећи чула, процењује се од чега се храна састоји и у каквом је стању. Код меша концентрованих хранива (концентрата), може се видети која су хранива укључена у смешу. Црни комадићи љуске сунцокрета упућују на присуство сунцокретевог сачме, листићи мекиња су црвенкасте боје, а меша од соје и кукуруза ће бити жута. У силажи целе биљке кукуруза, могу се разликовати делови стабљике и лишћа, који су богати влакнима, од зрневља које је богато скробом. На основу количине зрна, може се претпоставити каква ће бити конзумација, сварљивост и енергетска вредност силаже. Код сена луцерке (слика 51) разликује се стабљика богата влакнима од лишћа богатог протеинима, а треба обратити пажњу и на присуство корова. Дебеле и грубе стабљике указују да је сено кошено у каснијим фазама развоја биљке, док тање и мекше стабљике указују на млађе биљке. Сено са мало лишћа и грубим дебелим стабљикама, животиње ће

слабо конзумирати и споро варити. Ливадско сено може да се састоји од читавог низа биљних врста, па је потребно добро познавање ботанике да би се препознао тачан састав ливадског сена. Основно правило је да сено са више легуминоза има више протеина и мање влакана него сено са више трава. Нарочито треба водити рачуна о присуству нежељених и опасних примеса у храни за животиње. Метални предмети, различито смеће, отровне биљке, земља, лешеви глодара итд, често се нађу у храни за животиње и треба водити рачуна да се њихово присуство на време уочи и избегну ризици које оно може носити са собом.



Слика 51. Три узорка сена луцерке (горњи ред) и два узорка ливадског сена (доњи ред)

Поред утврђивања од чега се храна састоји, чула могу рећи доста и о њеном стању. Кварење хране се често може приметити по промени боје, појави непријатних мириса, приметној појави плесни итд. Светло зелена боја сена и очувана структура, указују да је сено добро припремљено и да није дуго стајало. Сено које је кисло, које је дуго стајало, било изложено сунцу итд. изгубиће светло зелену боју и лишће ће да се мрви и отпада. Појава ситне прашине и карактеристичног непријатног мириса указују на појаву плесни у сену. Сензорна оцена стања ферментисаних хранива, силажа и сенажа, нарочито је значајна и нарочито изазовна. Боја исправно силираног хранива треба да буде благо измењена у односу на боју почетне сировине која је силирана. Тако силажа целе биљке кукуруза треба да буде жуто-зелене боје, а силажа или сенажа луцерке треба да буде маслинасто зелене боје. Тамнија боја, браон или чак црна, указује на прегревање хранива приликом ферментације, док при недовољној ферментацији боја остане јарко зелена. Ако је ферментација прошла како треба, структура силаже ће бити очувана, а делови чврсти, док слузава и лепљива силажа указује на развој

непожељних микроорганизама и кварење. Добра силажа има благ мирис услед присуства млечне киселине. Оштар мирис на сирће указује на веће присуство сирћетне киселине, што може бити последица спорије ферментације и указивати да је дошло до већих губитака суве материје. У новије време, ово може бити и последица коришћења инокуланата који садрже хетероферментативне бактерије, а који се користе ради повећавања аеробне стабилности силаже, тј. њене постојаности приликом излагања ваздуху. Непријатан мирис на ужегао путер указује на присуство бутерне киселине, а оштар мирис на амонијак, указује на интензивну разградњу протеина, док и једно и друго указују да је силажа веома лошег квалитета.

5.2.3. ХЕМИЈСКА АНАЛИЗА ХРАНЕ ЗА ЖИВОТИЊЕ

Наука о исхрани животиња је остварила веома брз развој у последњих неколико деценија. За ово треба захвалити бројним и веома опсежним научним истраживањима, изведеним у циљу бољег упознавања природе хранива и процеса који се одвијају у организму животиња. Боље познавање потреба животиња и метаболизма хранљивих материја омогућено је континуираним развојем и унапређењем техника и метода за квантитативну анализу садржаја хранљивих материја у хранивима и телесним ткивима животиња. Увођење и коришћење нових метода и аналитичких поступака, пресудно је утицало на боље познавање и унапређење исхране свих врста и категорија животиња. Добијање поузданих информација о хемијском саставу и хранљивој вредности хранива, омогућило је потпуније састављање оброка за различите врсте и категорије животиња. Стога се с разлогом може рећи да је развој хемије односно инструменталне анализе пресудно утицао на велики прогрес до кога је дошло задњих деценија у исхрани животиња. Технике и методе које су најзначајније допринеле свему овоме су течна хроматографија високих перформанси (HPLC), гасна хроматографија (GC), атомска апсорпциона спектрофотометрија (AAS), индуктивно спрегнута плазма са атомским емисионим детектором (ICP-AES) или масеним детектором (ICP-MS), имунохемијске методе (ELISA) и бројне друге.

КЛАСИЧНА ХЕМИЈСКА АНАЛИЗА (WEENDE МЕТОДА)

Информације о саставу хранива и организма животиња, са којима данас располажемо, добијене су коришћењем тзв. *Weende metode*. Метода је развијена у експерименталној станици у Немачкој, средином 19. века. Према овој методи хранива се састоје из следећих фракција: вода, етарски екстракт (сирова маст), сирова влакна (сирова целулоза), сирови протеини, пепео и безазотне екстрактивне материје (БЕМ). Првих пет фракција се одређује хемијском анализом, а БЕМ рачунским путем (100 - сума осталих пет фракција).

Одређивање воде (влаге)

Садржај воде односно влаге у фино самлевленом узорку одређеног хранива се одређује мерењем масе узорка пре и после његовог сушења на температури од 105°C, до константне масе. Овај поступак се изводи помоћу одговарајућих сушница. Када се утврди садржај влаге у хранивима, она се може изражавати и међусобно упоређивати на бази садржаја суве материје. Ова метода у потпуности задовољава потребе већине хранива. Са неким хранивима, као што су различите силаже, које садрже испарљиве масне киселине, то није случај. У оваквим

хранивима садржај влаге треба одређивати на температури од 70°C, сушити замрзавањем или дестилацијом са толуеном.

Поред ове класичне методе одређивања влаге у сушницама, влага се може одредити и брзим методама попут различитих влагомера и сонди, као и помоћу микроталасне пећи. Такође, техника која је данас умногоме раширена у анализи хране за животиње је блиска инфрацрвена спектрофотометрија (NIR). Ова техника омогућава одређивање великог броја хемијских параметара за веома кратко време и о њој ће бити више речи на крају овог поглавља.

Одређивање пепела

Принцип одређивања сировог пепела се састоји у сагоревању и жарењу органске материје на температури од 550°C, при чему остају само минералне материје. Жарењем, органска материја се издваја у виду гасова као што су H_2 , CO_2 и H_2O , при чему остаје минерални део који може да садржи и разне нечистоће: земљу, песак и сл. Овакав минерални остатак се назива сирови пепео.

Овако добијен сирови пепео садржи минералне материје које су биле присутне у анализираном храниву. Прављењем раствора из сировог пепела могу се одредити макро и микро-елементи. Најчешће аналитичке технике које се користе за одређивање макро и микро-елемената су пламена фотометрија, атомска апсорпциона спектрофотометрија (AAS) и једна од новијих модификација атомске спектрофотометрије, индуктивно спрегнута плазма са атомским емисионим детектором (ICP-AES) или масеним детектором (ICP-MS). Користећи масени детектор, овом техником се могу одредити готово сви елементи периодног система, дакле, како метали тако и неметали.

Одређивање масти

Масти се у храни за животиње одређују екстракцијом са једним од органских растварача, најчешће етром или петролетром. Из те чињенице проистиче и њихов назив који се среће у западној литератури, етарски екстракт. Масти се одређују на начин да се од припремљеног узорка одмери неколико грама у специјални фишек од филтер-папира, а могу се користити и комерцијалне цилиндричне посуде од пресованог целулозног папира, тзв. хилзне. Овако припремљен узорак се ставља у чист и сув балон који одговара апаратури по Soxhlet-у. Деценијама је рађено класичном апаратуром за екстракцију по Soxhlet-у која се састојала од балона, екстрактора (стакленог дела у који се ставља фишек са узорком), кондензатора и воденог купатила. Данас се користи савремена апаратура по Soxhlet-у која је приказана на слици 52. Као што се види, могуће је истовремено екстраховати шест узорака. Целулозне хилзне са осушеним узорцима се постављају у цилиндричне посуде испод којих се налази грејно тело. Паре растварача одлазе у хладњак (изнад посуде), где се кондензују и кондензат се у капима враћа у посуду кроз хилзне, екстрахујући маст из узорка. Уређај има прикључке за довођење воде за хлађење и компримованог ваздуха, а његов рад се може програмирати. Постоје сличне аутоматске апаратуре на којима се истовремено може анализирати осам, дванаест или више узорака.



Слика 52. Апаратура за одређивање масти по Soxhlet-у.

Одређивање протеина

Одређивање укупног садржаја протеина се заснива на *Kjeldahl*-овој методи одређивања органског азота и на оцени да сви протеини садрже око 16% азота. Ова претпоставка је довољно тачна када су у питању сточна хранива за која се тада примењује фактор 6,25 за израчунавање садржаја сирових протеина.

Квантитативно одређивање сирових протеина започиње разарањем (дигестијом) органске материје концентрованом сумпорном киселином у присуству смеше катализатора K_2SO_4 и $CuSO_4$ и везивању азота из аминок група протеина грађењем соли амонијум сулфата. Органска супстанца се угљенише, а настали сумпордиоксид редукује азот до амонијака, који са сумпорном киселином гради одговарајућу со, амонијум-сулфат. Затим се врши дестилација помоћу апаратуре приказане на слици 53, односно увођење амонијака у раствор H_3BO_3 са мешом индикатора. Одређивање протеина методом по *Kjeldahl*-у се завршава титрацијом раствором HCl . На основу утрошене киселине врши се прерачунавање садржаја азота у узорку множењем са фактором који зависи од процента азота у протеинима односно врсти хранива или хране за животиње. Када су у питању протеини анималног порекла користи се фактор 6,25, за биљне протеине 5,7, за протеине из уљарица 5,5, док је фактор за млеко 6,38.



Слика 53. Аутоматски Kjeldahl систем за одређивање протеина.

Одређивање угљених хидрата

Безазотне екстрактивне материје (БЕМ) састоје се претежно из лако доступних угљених хидрата, као што су шећери и скроб. Поред растворљивих угљених хидрата, у БЕМ-у се налазе и значајне количине лигнина и хемицелулозе. Ово је посебно важно за кабаста хранива, где количина ових материја варира у зависности од врсте биљака и фазе вегетације. Подела угљених хидрата у две групе, различите по растворљивости, заснива се на претпоставци да постоји директна зависност између растворљивости угљених хидрата и њихове хранљиве вредности. Тако, сирова влакна представљају фракцију угљених хидрата коју не могу ефикасно користити непрживари, а користе БЕМ као основни извор енергије у њиховој храни. Међутим, сирова влакна ефикасно могу користити преживари. То значи да резултати класичне хемијске анализе не одражавају праву хранљиву вредност хранива. Због тога се овако добијене вредности морају допунити са другим подацима, као што су коефицијенти сварљивости или садржај енергије у одређеним хранивима. Поред свих ових ограничења, подаци добијени класичном хемијском анализом имају широку примену у табелама о хемијском саставу хранива.

Одређивање укупних влакана (сирове целулозе) класичном методом. Одређивање укупних влакана односно сирове целулозе је данас умногоме поједностављено применом савремених аналитичких инструмента, али сами принципи одређивања су остали идентични. Само одређивање укупних влакана се заснива на киселој, а затим базној хидролизаци испитиваног узорка. Поменутом хидролизом се уклањају лако сварљиви угљени хидрати, масти и протеина. Након хидролизе, кесице са узорком се суше, а затим и жаре. На основу разлика у измереним масама након сушења и жарења, израчунава се садржај укупних влакана односно сирове целулозе.

МЕТОДА ЕКСТРАКЦИЈЕ СА ДЕТЕРЦЕНТИМА (VAN SOEST-ова МЕТОДА)

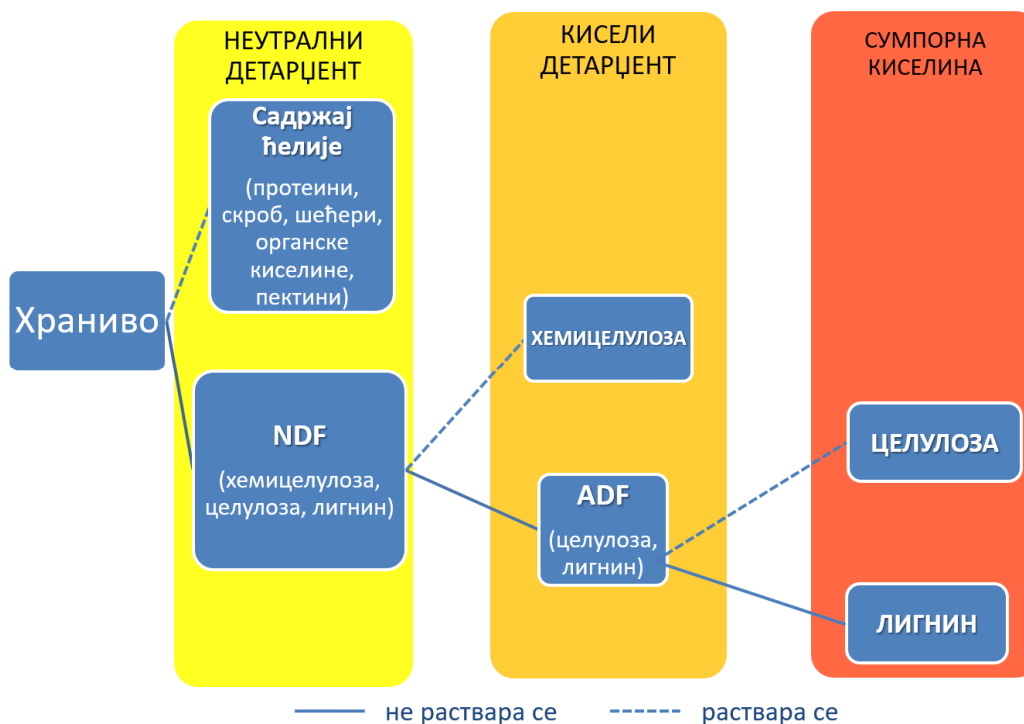
Упркос вишедеценијском коришћењу класичне Weende методе, постајала је оправдана потреба за допуном ове методе јер се евидентно доказало да ова метода не може дати прецизне податке када је у питању садржај сирових влакана, фракција безазотних екстрактивних материја, па чак и пепео. Алтернативни поступак за одређивање садржаја сирових влакана разрадио је Van Soest.

Коришћењем класичне хемијске анализе, одређивање сирових влакана заснива се на претпоставци да је ово најмање сварљива фракција угљених хидрата, а да су БЕМ најсварљивија. Колебања у саставу и сварљивости биљних влакана су нарочито значајна у случају кабастих хранива.

Сува материја из кабастих хранива, према поступку који је разрадио Van Soest, може се поделити у две фракције на основу њихове доступности животињама. Прва фракција представља *садржај ћелија* и састављена је из лако сварљивих угљених хидрата, масти и протеина. Ова фракција је, углавном, доступна животињама. Другу фракцију чине *зидови ћелија* и може се дефинисати као укупна влакна. У погледу доступности ова фракција показује значајна колебања између појединих хранива, због учешћа и међусобне повезаности лигнина, хемицелулозе и целулозе. За издвајање ових у групе, у зависности од њихове доступности, Van Soest је успео да изолује ћелијске зидове биљака са раствором детергента, а затим из њих издвоји лигнин, целулозу и хемицелулозу.

Према овом поступку, *зидови ћелија* или *неутрална детергентска влакна* (NDF, *eng. Neutral Detergent Fibre*), представљају остатак после екстракције са неутралним растворима натријум-лаурил сулфата и етилендиамин тетрасирћетне киселине (EDTA). Ова фракција се састоји, углавном, од целулозе, хемицелулозе и лигнина. Аналитички поступак за одређивање NDF, првобитно намењен за кабаста хранива, може се, такође, користити и за хранива која садрже скроб, при чему се врши третирање са амилазом, док се хранива богата мастима обезмашћују са врућим етанолом.

Кисела детергентска влакна (ADF, *eng. Acid Detergent Fibre*) представљају остатак након третирања са сумпорном киселином и цетилтриметиламониум бромидом, и представља претежно фракције сирове целулозе и лигнина у биљном материјалу, а укључује и силицијум диоксид. Одређивање садржаја ADF-а од посебног је значаја за кабаста хранива због постојања јаке узајамне везе између садржаја ове фракције и сварљивости хране. Ове аналитичке методе које је разрадио Van Soest намењене су, пре свега, за анализу хемијског састава кабастих хранива, али су значајне и код анализе концентрованих хранива. Користе се пре свега за исхрану преживара, али и непреживара. Употреба ових метода су омогућиле поделу компонената биљака (кабастих хранива) на следеће фракције (слика 54):



Слика 54. Шематски приказ Van Soest методе анализе хранива (Ensminger и сар. 1990).

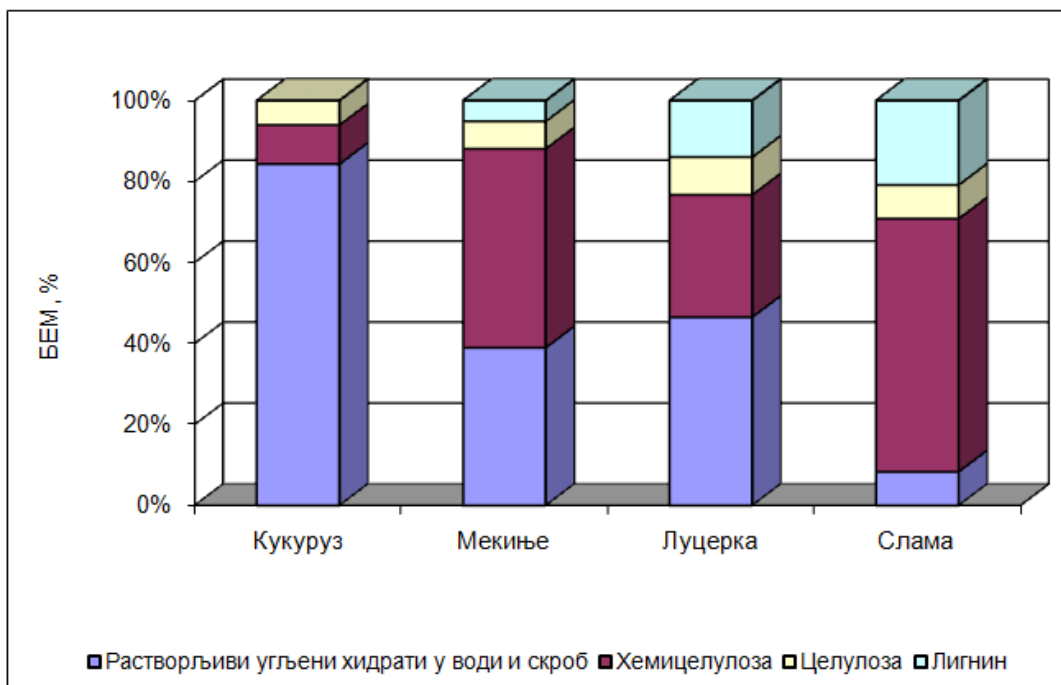
1. неутрална детергентска влакна (NDF). NDF садржи главне компоненте ћелијског зида: целулозу, хемицелулозу и лигнин. По овом поступку узорци хранива се кувају у раствору натријум-лаурил сулфата и EDTA. Овај детергент екстрахује липиде, шећере, органске киселине и друге у води растворљиве материје, затим пектин (обично сврстан у фиброзне угљене хидрате), једињења NPN, растворљиве протеине и извесне количине силицијум диоксида (SiO_2) и

танина. Нерастворљиве материје представљају неутрални детергентски остатак, или познатији као *неутрална детергентска влакна* (NDF).

2. кисела детергентска влакна (ADF). При коришћењу овог поступка узорци хране се кувају у раствору цетил триметиламонијум бромида и H_2SO_4 . Компоненте растворљиве у киселом детергенту укључују углавном хемицелулозу ћелијских зидова, протеине, лигнифицирани N (несварљиви N), кутин, SiO_2 , нешто пектина и нешто резидуа целулозе. Ова фракција позната је под називом *кисела детергентска влакна* (ADF) и састоји се од целулозе и лигнина.

ADF фракција се може даље екстраховати раствором сумпорне киселине веће концентрације како би се издвојио лигнин од целулозе.

Удео појединих, горе описаних фракција у одређеним хранивима је јасно приказан на слици 55.



Слика 55. Удео појединих фракција (растворљиви угљени хидрати у води, скроб, хемицелулоза, целулоза и лигнин) у БЕМ-у у одређеним хранивима (Van Soest, 1994).

Одређивање аминокиселина

Аминокиселине се најчешће одређују на два начина: течном хроматографијом високих перформанси (HPLC) (слика 59) или специјалним инструментом тзв. аминокиселинским анализатором (енг. *Amino Acid Analyser*). Оваквој анализи аминокиселина претходи хидролиза узорка како би се протеини разградили до аминокиселина, а потом и дериватизација аминокиселина.

Хидролиза протеина у сврху одређивања појединачних аминокиселина је изузетно важан део поступка анализе аминокиселина. Наиме, поједине аминокиселине нису стабилне у појединим супстанцама које се користе за хидролизу, а осим тога и температура, као и време хидролизе значајно утичу на стабилност аминокиселина. Стога, у зависности које се аминокиселине одређују бира се начин хидролизе. Најчешће се користи поступак киселе хидролизе у HCl -у током 24 h, мада постоје и различите модификоване варијанте ове методе. Овај

начин хидролизе је погодан за анализу већине аминокиселина. Остале аминокиселине, које се не могу поуздано одредити оваквим начином хидролизе (триптофан, цистин и сл.), се хидролизују на посебан начин, користећи друге супстанце за поступак хидролизе (натријум-хидроксид, 2-меркаптоетансулфонска киселина и др.)

Пошто саме аминокиселине нису способне да апсорбују UV и видљиво зрачење, приступа се реакцији дериватизације аминокиселина различитим супстанцама (нихидрин, ОРА реагенс и др.) како би оне апсорбовале UV односно видљиво зрачење. Реакција дериватизације може бити претколонска и постколонска. Претколонска дериватизација се одвија пре наношења узорка на хроматографску колону, док се постколонска одвија након раздвајања на поменутој колони. Након раздвајања аминокиселина врши се детекција, а потом и квантификација на основу стандарда познате концентрације аминокиселина.

Било који од описаних начина захтева озбиљну опрему, време, искуство, што умногome утиче на цену анализе.



Слика 56. Течни хоматограф високих перформанси (HPLC).

Одређивање витамина

За одређивање садржаја витамина, у овом моменту, најзаступљеније су методе засноване на хроматографским техникама. Овде се пре свега мисли на течну хроматографију високих перформанси (HPLC, слика 59), али и гасну хроматографију (GC), уз употребу различитих врста детектора. Нешто раније су коришћене спектрофотометријске и колориметријске методе, али течна хроматографија високих перформанси је данас стандардна метода за одређивање обе групе витамина. Поступак анализе се условно може поделити у две фазе. У првој фази се изводи екстракција витамина из узорка хране за животиње различитим методама, а затим се, у другој фази, врши хроматографска анализа. Хроматографска анализа подразумева раздвајање састојака смеше на хроматографској колони, а потом њихову детекцију и квантификацију на неком од детектора.

NIR техника

У последњој деценији је ова аналитичка техника заузела значајно место у анализи хране за животиње. Ради се о веома брзој и неинванзивној техници помоћу које се у веома кратком року може анализирати храна за животиње. Она се веома разликује у односу на класичне хемијске методе јер се анализа заснива на снимању спектра узорака у IR области, а затим се на основу великог броја снимљених IR спектра узорака хране за животиње праве калибрационе криве. На основу ових

направљених калибрационих кривих се снимају узорци чија концентрација одређених хемијских параметара је непозната и желимо је одредити. Дакле, ради се о индиректној методи где се уз помоћ унапред припремљених калибрационих кривих могу снимити и квантитативно одредити бројни хемијски параметри попут влаге, пепела, масти, протеина, целулозе, макро и микроелемената, ADF-a, NDF-a, витамина и многи други. Предност ове технике су велика брзина анализе, често без млевења узорака, а као недостатак се могу навести веома скупе и често непоуздане калибрационе криве.

Одређивање масних киселина

Одређивање масних киселина се врши помоћу гасне хроматографије (GC) или, у мањој мери, течној хроматографијом (HPLC). Како храна за животиње представља веома сложен матрикс са аспекта хемијске анализе, неопходно је прво екстатовати масти из узорка. Треба напоменути да су многе полинезасићене масне киселине (линолна, линолеинска, арахидонска) врло осетљиве на температуру и да на ово треба посебно обратити пажњу приликом екстракције масти. Да би се масне киселине анализирале, неопходно је превести триацилглицероле у метил-естре помоћу разних хемијских реагенса као што су бор(III)-флуорид (BF_3), триметилсиллил-хлорид (TMSCl) и слична једињења. Превођењем масних киселина у њихове метил-естре (метил-палмитат, метил-стеарат, метил-олеинат и др.) се значајно повећава њихова испарљивост. Тек сада се оваква смеша метил-естара масних киселина може анализирати гасном хроматографијом. Приликом хроматографије, користи се чињеница да нису сви метил-естри подједнако испарљиви и на основу овога се раздвајају појединачни метил-естри. Као детектор овако раздвојених естара се најчешће користи пламено-јонизујући детектор (FID) или масени детектор (MS).

Предност овакве методе је висока прецизност испитивања и могућност одређивања великог броја масних киселина, док са друге стране, оваква анализа захтева озбиљну опрему, време, искуство, што умногоме утиче на цену анализе.

Анализа силаже

Када је у питању хемијска анализа силаже, она се састоји у одређивању основних хемијских параметара, а поред њих и присутних силажних киселина, рН вредности, амонијачног и растворљивог азота у односу на укупни. Први корак у анализи силажних киселина представља њихова екстракција помоћу воде. Овако добијени водени екстракт се дестилује и дестилат се волуметријски одређује. Силажне киселине које се добију на овакав начин и у значајној мери представљају квалитет силирања су сирћетна, млечна и бутерна киселина. У новије време, за одређивање силажних киселина се све више користи гасна хроматографија. Поступак је сличан горе описаној методи, узорак се екстрахује водом, филтрира и овакав екстракт се анализира гасним хроматографом. Будући да су силажне киселине прилично мале молекулске масе (два, три и четири C-атома), оне су лако испарљиве и за њихову детекцију се користе FID и масени детектор.

Одређивање рН вредности силаже се заснива на екстракцији узорка силаже водом. Након екстракције и филтрирања, рН вредност воденог екстракта се одреди помоћу рН-метра. Просечна рН вредност силаже износи око 4.

Микробиолошка испитивања

Микробиолошка испитивања се односе на квантитативно и квалитативно одређивање микроорганизама. У хранивима и готовим оброцима који се користе за исхрану животиња врши се доказивање присуства патогених микроорганизама који могу директно да доведу до појаве обољења код животиња. Поред тога, врши се и одређивање укупног броја сапрофитних микроорганизама, који, уколико је увећан, може да укаже на могућност кварења хране. Поступак микробиолошког испитивања може бити квантитативни и квалитативни. При испитивању хране за животиње, квантитативно се одређује укупан број сапрофитних бактерија, затим укупан број квасаца и плесни, као и укупан број сулфиторедукујућих клостридија, док се квалитативно доказује присуство бактерија из рода *Salmonella*, *Clostridium*, *Listeria*, *Staphylococcus*, као и специфично патогених бактерија.

Сам поступак микробиолошког испитивања уопштено обухвата припрему хранљиве подлоге, засејавање узорка на подлогу и инкубирање на одређеној температури. Уколико се врши квантитативно испитивање, након инкубирања се приступа бројању колонија. С друге стране, ако се ради о квалитативном испитивању, обавља се даље засејавање на специфичне хранљиве подлоге за доказивање бактерија сваког рода понаособ.

5.2.4. ИЗБОР ХЕМИЈСКИХ АНАЛИЗА ХРАНЕ И ТУМАЧЕЊЕ ЊИХОВИХ РЕЗУЛТАТА

При руковођењу контролом квалитета хранива важно је направити добар избор шта ће се, како и колико често анализирати. Животиње се обично хране релативно великим бројем хранива, од којих већина обезбеђује велики број хранљивих материја, а могу и садржати различите штетне материје. Ако би се одлучили да проверимо садржај сваке хранљиве и штетне материје у сваком храниву, било би неопходно неколико стотина анализа, трошкови толиких анализа били би огромни и сигурно би надмашили користи које проистичу из добијања тих података. Са друге стране, искључиво ослањање на просечне вредности ће резултирати грешкама у исхрани и економским губицима. Треба наћи прави баланс између два екстрема, анализирања свега и неанализирања ничега. Често се дешава да у лабораторију стигне узорак хране без назнака која се анализа тражи или уз образложење да наручилац жели да види да ли је „све у реду са храном“. Број хранљивих и штетних материја чије би присуство и ниво требало проверити у храни да би се могло тврдити да је са храном све у реду је огроман. Због тога је изузетно важно знати које анализе су важне за одређена хранива и одређене животиње.

Класичне или брзе анализе и избор лабораторије?

Исхрана животиња је сложен систем, са много извора варијабилности и у њему никада није могуће постићи стопостотну сигурност, али је важно држати ризике под адекватном контролом. Анализе хране су веома битне у овом процесу, али ни оне нису савршено поуздане и не уклањају несигурност у потпуности. Без икаквих информација о неком сену луцерке, можемо бити сигурни да је садржај протеина у њему већи од 5% и мањи од 25%. Ако урадимо органолептичку оцену овог сена и видимо да се ради о сену просечног изгледа, са уобичајеним односом листа и стабљике, смањили смо несигурност и можемо бити сигурни да је садржај протеина у њему између 13 и 19%. Ако ово сено правилно узоркујемо и пошаљемо на

анализу, а из лабораторије добијемо резултат да је садржај протеина у њему 17,52%, то и даље не значи да сада имамо апсолутно поуздану слику о садржају протеина у овом храниву. И хемијске анализе хране су подложне несигурности, а ово се назива **мерна несигурност**. Мерна несигурност показује колико одређена лабораторија прецизно врши одређену анализу. Ако је мерна несигурност лабораторије у коју смо послали узорак 1,5% за садржај протеина, онда можемо бити сигурни да наше сено има између 16 и 19% протеина, а ако је мерна несигурност 0,5%, можемо бити сигурни да је садржај протеина између 17 и 18%. При избору лабораторије у којој ће се радити анализе, предност треба дати акредитованим лабораторијама, јер овакве лабораторије редовно пролазе кроз процесе провере прецизности својих анализа поређењем са другим лабораторијама, прате и контролишу своју мерну несигурност и спроводе низ других активности које треба да резултирају што прецизнијим анализама.

Поред класичних лабораторијских анализа, које обично захтевају скупу опрему, бројне хемикалије, веома обучено особље и доста времена, постоје и тзв. брзе анализе које омогућавају уштеду у времену, коришћење уз минималну обуку, анализе узорака на лицу места, без слања у лабораторију, итд. Брзи мерачи влаге, китови за брзо одређивање микотоксина, индикатори за термичку обраду соје итд., постају све доступнији. Нарочито важна форма брзих анализа су **NIR анализе**, односно анализе на бази инфрацрвене спектрофотометрије. Апарати који раде на овом принципу омогућавају масовно, брзо и често јефтино одређивање састава хранива, а многи од ових апарата су преносиви и лаки за употребу. Њихова прецизност зависи од самог апарата, али у великој мери и од калибрације која се користи и може бити веома различита. При доношењу одлуке хоће ли се за одређену анализу користити класични или брзи приступ, треба у обзир узети све релевантне факторе. Да ли нам је резултат хитно потребан, колико је прецизна класична, а колико брза анализа, колики су трошкови једне и друге. У ситуацији када брзо треба донети одлуку да ли је кукуруз довољно сув да се почне са његовим убирањем, брзи мерач влаге је једино решење, па макар његови резултати били мање прецизни, али ако треба донети одлуку о куповини великих количина ускладиштеног зрна кукуруза, прецизност анализе ће бити приоритет. У сваком случају, **важно је увек бити свестан поузданости резултата различитих анализа.**

Стандардна хемијска анализа

Вероватно најчешћа анализа хране за животиње је стандардна хемијска анализа којом се утврђују садржај протеина, масти, целулозе, пепела и влаге у храни. Шеста фракција, безазотне екстрактивне материје (БЕМ) добија се рачунски, тако што се од 100% одузме збир претходних 5 компоненти. **Влага** је значајна у погледу стабилности хранива јер низак ниво влаге спречава микробиолошко кварење хране. Сува хранива, као што су сено, зрнелје житарица, уљане погаче итд., као и потпуне и допунске смеше за исхрану животиња, обично имају око 12% влаге. За влажна хранива која се силирају или при трговини хранивима, веома је важно утврдити ниво влаге. **Сува материја**, која је једнака разлици између 100% и удела влаге, изузетно је значајан показатељ, а нарочито у исхрани преживара где се често користе хранива која се веома разликују у овој вредности. Како је сва хранљива вредност хране садржана у сувој материји, анализа суве материје ће нам рећи колико заправо хране имамо, а колики део је безвредна вода. У исхрани преживара је уобичајно да се садржај свих хранљивих материја изражава у односу на суву

материју, па је ова анализа неизоставна. **Садржај протеина** је обично прва информација која се истиче о неком храниву или смеши. Ово је једним делом због нутритивног значаја протеина, али и због њихове високе цене. Хранива са више протеина, по правилу су вреднија него хранива са мање протеина. **Маси** су, такође, веома вредне компоненте хране, посебно важне као добар извор енергије, али је садржај маси у храни за животиње често низак и уједначен, па је ова анализа обично мање важна од анализе протеина. **Пепео** говори о садржају неорганских материја у храни, а необично висок ниво пепела указује на контаминацију хране неком неорганском компонентом, што може бити земља у случају кабастих хранива. Стандардна хемијска анализа нам даје основну слику о саставу неког хранива или смеше, али то не значи да је ова анализа увек први избор за проверу квалитета хране. У зависности од тога о ком храниву или смеши се ради и за исхрану којих животиња су намењени, често треба стандардну хемијску анализу допунити другим анализама, а у одређеним ситуацијама чак треба предност дати тим другим анализама, а стандардана анализа се може изоставити.

Анализе важне за исхрану преживара

У исхрани преживара нарочита пажња се придаје анализама кабастих хранива. Ово никако не значи да треба занемарити анализе концентрованих хранива, али кабаста хранива су нарочито варијабилна, а обично чине већи део obroка. Код кабастих хранива је потребно утврдити **садржај влакана** и протеина, као најважнијих показатеља њиховог квалитета. Што неко кабасто храниво има мање влакана то ће преживари моћи више да га конзумирају, боље да га сваре и обезбедиће им више енергије. Мало влакана и много протеина чине квалитетно кабасто храниво (нпр. сено лущерке), док много влакана и мало протеина чине кабасто храниво слабог квалитета (нпр. слама). Сирова целулоза као показатељ садржаја тешко сварљивих угљених хидрата није довољно добра, поготово не за исхрану преживара. Уместо тога, данас се доминантно користе **показатељи из Van Soest анализе: NDF, ADF и лигнин**. Они дају доста добру слику о садржају и саставу влакана у храниву, као и о његовој сварљивости. Конзумација је тесно повезана са нивоом NDF-а у храни, а сварљивост хране са уделом ADF-а и лигнина у њој. Садржај маси у кабастим хранивима је низак и не много варијабилан, па анализа маси није међу најнеопходнијима.

Како у савременој исхрани преживара доминирају влажна, ферментисана хранива, силаже и сенаже, често су потребне анализе које говоре о квалитету оваквих хранива, а то су у првом реду **садржај суве материје, рН вредност и садржај силажних киселина** (млечне, сирћетне и бутерне киселине). Садржај суве материје је битан код конзервисања хранива ферментацијом и мора бити оптималан. Нпр. за припрему силаже целе биљке кукуруза, садржај суве материје треба да буде између 32 и 38%. Ако је маса за силирање сувља, тешко је сабити и постићи анаеробне услове, па лако може доћи до појаве плесни, а ако је маса влажнија, може доћи до губитака цеђењем силажног сока, развоја непожељних бактеријских врста итд. Киселост силаже, исказана рН вредношћу, такође је честа и значајна анализа. Ниска рН вредност, око 4, важна је код ферментисаних хранива јер зауставља развој непожељних микроорганизама. Садржај млечне, сирћетне и бутерне киселине, могу пружити слику о томе како је протекла ферментација кабасте хране, до коликих губитака је дошло при ферментацији и да ли је силажа безбедна за употребу. Велики удео млечне киселине указује на брзу и ефикасну ферментацију, док веће учешће сирћетне киселине указује на веће губитке и може

довести до слабије конзумације силаже. Изузетак од овог правила су ситуације када су при припреми силаже коришћени нарочити сојеви хетероферментативних бактерија које продукују доста сирћетне киселине, а користе се ради повећања аеробне стабилности силаже, односно смањења њеног кварења након излагања ваздуху. Присуство бутерне киселине у силажи је веома непожељно, може указивати на патогене бактерије у силажи, а у већим концентрацијама може представљати фактор ризика за појаву метаболичког обољења, кетозе. Додатни подаци о ферментисаним хранивима могу се добити преко удела растворљивог и амонијачног азота. Нормално је да се приликом ферментације један део протеина разгради од стране микроорганизама, повећавајући тако удео растворљивог и амонијачног азота, али ако су њихови удели сувише високи, то указује да ферментација није била оптимална.

Код ферментисаних кабастих хранива код којих је дошло до прегревања, што се често може видети по тамној боји, потребно је проверити **доступност протеина**. Исто може бити значајно и за друга хранива која су била изложена превисоким температурама, као на пример неадекватно припремљене сојине производе. На високим температурама, протеини реагују са угљеним хидратима, често стварајући једињења која су за животиње несварљива. Колико је протеина недоступно преживарима може се проверити преко садржаја протеина у ADF-у. Ова вредност се изражава као ADIN, азот у ADF-у или као ADICP, сирови протеин у ADF-у. Што је ADIN или ADICP виши, то је мање протеина доступно преживарима, а процена доступности се може направити преко формула из америчког система за краве музаре (NRC, 2001). Од огромног значаја за исхрану преживара је разградивост протеина, али ова анализа није лако доступна за практичну употребу и квалитетни подаци се за сада могу добити само огледима на животињама.

Анализе важне у исхрани непреживара

Доминантна протеинска хранива у исхрани свиња и живине су сојини производи. Соја се одликује високим нивоом протеина доброг аминокиселинског састава и ниским нивоом влакана. Међутим, соја садржи и антинуутритивне материје које ометају њено успешно коришћење у сировом стању, од којих је најважнија трипсин инхибитор и због тога се мора адекватно термички обрадити. Ово је веома осетљив процес јер и недовољна и претерана термичка обрада соје доводе до смањења њене хранљиве вредности. Због тога су у исхрани непреживара веома честе и значајне **анализе термичке обраде соје**. Пошто је директно праћење инактивације трипсин инхибитора теже изводљиво, уместо тога прате се друге промене до којих паралелно долази приликом термичке обраде. Неке од најчешћих анализа су одређивање активности уреазе, ензима који катализује хидролизу уреје и анализа растворљивости протеина. Са термичком обрадом, смањује се активност уреазе и смањује растворљивост протеина, па се на основу тога, индиректно, може донети закључак о адекватности термичког третмана. У оба случаја, важно је да резултат буде оптималан. Сувише висока вредност указује на могуће присуство антинуутритивних материја, а сувише ниска вредност на могућа оштећења протеина услед претераног третмана.

У исхрани свиња и живине, веома су важне и **анализе аминокиселинског састава протеина**. За разлику од преживара, код којих микроорганизми бурага трансформишу аминокиселински састав хране, непреживари ће добити само оне есенцијалне аминокиселине које се налазе у храни. Због тога се у савременим препорукама за исхрану непреживара често чак изоставља препоручени ниво

протеина, а истичу само потребе у аминокиселинама. Ово добро говори о значају анализа аминокиселина за исхрану непреживара. Садржај аминокиселина у хранивима се може проценити на основу садржаја протеина и формула добијених праћењем аминокиселинског састава хранива са различитим нивоима протеина, али је успешност оваквог предвиђања варијабилна. За одређене аминокиселине у одређеним хранивима, може се направити поуздана процена, док је код других хранива и аминокиселина то немогуће и једини начин да се дође до поуздане вредности је анализа хранива. У случају смеша, анализа аминокиселина је једина опција. Прве лимитирајуће аминокиселине у исхрани свиња и живине, обично су лизин и метионин.

5.3. ОЦЕНА ЕНЕРГЕТСКЕ ВРЕДНОСТИ ХРАНЕ ЗА ЖИВОТИЊЕ

Изузетно важан део оцено квалитета хране за животиње је оцена њене енергетске вредности. Ово захтева да се храниво или смеша најпре адекватно узоркује, затим да се анализира већи број неопходних параметара хемијског састава, а након тога да се применом одређених математичких поступака који узимају у обзир карактеристике хране, али и карактеристике животиња које ће ту храну користити, одреди енергетска вредност.

Шта је енергетска вредност хране за животиње?

Енергетска вредност хране за животиње је квантитативно исказана количина енергије која се у храни налази и коју животиње из ње могу искористити. Енергетска вредност хране се најчешће изражава у џулима (J) или калоријама (cal), а пошто ове јединице представљају веома мале количине енергије, обично се за изражавање енергетске вредности користе милиони џула – мега џули (MJ) и хиљаде калорија – кило калорије (kcal). Џули су званичне јединице СИ система, али се у области исхране животиња, као и исхране људи, ипак некада користе и калорије. Једна калорија једнака је 4,184 џула. Дневне потребе људи у енергији обично се процењују на 2 000 до 2 500 kcal, што износи 8,4 до 10,5 MJ. Енергетска вредност хране се данас најчешће изражава у нето енергији, за преживаре, и метаболичкој енергији, за свиње и живину.

Зашто је важна енергетска вредност хране за животиње?

Као што је у исхрани људи једна од првих информација о свакој намирници њена енергетска вредност (колико калорија садржи), тако је и у исхрани животиња изузетно важан енергетски садржај хране. Пошто је енергија једна од најскупљих ставки у храни, потребно је прецизно проценити њен садржај, али то није лако. Такође, није лако кориговати енергетску вредност када је то неопходно. Узмимо за пример један типичан оброк за музне краве који садржи око 20 kg суве материје, 15% протеина, 6,5 MJ/kg нето енергије за лактацију и 0,8% калцијума (изражено на суву материју). Ако се жели повећати садржај калцијума у овом оброку за 10%, довољно је додати оброку 50 грама сточне креде. Ако се жели повећати садржај протеина у овом оброку за 10%, довољно је један килограм житарица заменити килограмом сојине сачме. Међутим, ако се жели повећати садржај енергије за 10%, најчешће ће бити неопходно кориговати готово читав оброк, и кабасти и концентровани део, као и њихов међусобни однос. Енергетска вредност хране је такође у корелацији са конзумацијом хране, па ће грешке у процени и балансирању

енергетске вредности индиректно утицати и на унос свих осталих хранљивих материја.

Како се оцењује енергетска вредност хране?

Енергетска вредност хране се утврђује у огледима на живим животињама у склопу научних истраживања. За практичну исхрану овакав приступ би био сувише скуп, па се уместо тога енергетска вредност оцењује на основу карактеристика хране, а пре свега на основу њеног хемијског састава. Знања добијена у научним испитивањима користе се за формирање математичких модела који се онда у практичној исхрани користе за оцену енергетске вредности хране. Ови модели су различити за различите врсте и категорије животиња, пошто различите животиње различито користе храну. Изузетак су модели за оцену укупне енергије, која се ослобађа при сагоревању хранива и не зависи од животињске врсте. Математички модели који се користе за оцену енергетске вредности хране могу веома варирати у својој сложености. Неки се састоје од свега једне формуле са две-три улазне променљиве, док данас постоје и изузетно сложени модели који се не могу користити без помоћи рачунара и одговарајућег софтвера.

Оцењена енергетска вредност, нарочито код преживара, биће тачна само ако су задовољене и остале нутритивне потребе. Ако у оброку преживара недостаје минерала, разградивих протеина или ефективних влакана, микроорганизми бурага неће моћи нормално да се развијају, варење ће бити отежано, коришћење енергије неће бити ефикасно, а процењена енергетска вредност неће одговарати реалној.

Европски енергетски систем за живину

Прорачун енергетских вредности хране за живину усаглашен је на нивоу целе Европске уније, за разлику од модела који се користе код других животињских врста, где многе земље чланице користе различите моделе. За декларисање енергетске вредности хране за живину у Европској унији, може се користити само овај модел, који је релативно једоставан и проверљив, па купци хране у случају сумње лако могу проверити да ли енергетска вредност хране одговара оној на декларацији. Ова обавеза је донета анексом Европске регулативе о методама узорковања и анализа за званичну контролу хране за животиње (ЕС 152/2009). Иако се овде ради о моделу новијег датума, овај модел је приказан први због његове једноставности која га чини добрим примером за разумевање како енергетски системи функционишу. Према овом моделу, метаболичка енергија хране за живину (МЕ), изражена у MJ/kg, предвиђа се на основу садржаја сирових протеина (СП), сирових масти (ЕЕ), скроба и укупних шећера у храни, изражених у процентима.

$$ME \text{ (MJ/kg)} = 0,1551 \times СП + 0,3431 \times ЕЕ + 0,1669 \times \text{скроб} + 0,1301 \times \text{укупни шећери}$$

Килограм хране која садржи 20% протеина, 7% масти, 41% скроба и 5% шећера, обезбедиће живини, према овом моделу 13 MJ метаболичке енергије. Од тога, протеини обезбеђују 3,1 MJ, масти 2,4, а скроб и шећери 7,5 MJ. Храна састављена од чистог протеина, тј са 100% сирових протеина имала би по овом моделу 15,51 MJ МЕ, чисте масти 34,31, чисти скроб 16,69 и чисти шећер 13,01. Осим онога што је приказано у формули, овај модел индиректно подразумева да остале компоненте хране немају енергетску вредност и не утичу на њено коришћење. Када се саберу компоненте из претходног примера (20% + 7% + 41% + 5% = 73%), види се да 27% хране није обухваћено формулом. У овом делу се налази 10 до 15% воде и око 5%

минералних материја, који свакако не садрже енергију, а и не би требало да утичу на успешност коришћења енергије из органских компоненти. Међутим, уз њих, ту се налази и око 10% органских компоненти које нису обухваћене формулом. Ту су пре свега заступљене компоненте ћелијског зида које су веома слабо сварљиве или несварљиве код живине: целулоза, хемицелулоза, пектин, лигнин. Сварљивије од ових компоненти ће се малим делом сварити у слепим цревима живине и тако повећати енергетску вредност, док ће неке од њих отежавати варење преосталих компоненти, смањујући енергетску вредност. Ипак, пошто је њихова количина у храни за живину обично мала, ови ефекти су у датом моделу занемарени, као и бројни други могући утицаји на енергетску вредност. Ово је последица прављења компромиса између једноставности и прецизности, а што је веома често неопходно.

Амерички енергетски систем за живину

У оквиру публикације америчког Националног истраживачког већа (NRC): Нутритивне потребе живине, 9. ревидирано издање (1994) препоручен је за употребу систем оцене енергетске вредности који није универзалан за сва хранива. Другим речима, за разлику од европског система, овде се за различита хранива користе различити математички модели. Предност оваког приступа је већа прецизност у процени енергетске вредности, али се енергетска вредност не може проверити за целу смешу, тј. готову храну за живину, што представља озбиљну ману. Ново издање, 10. ревидирано, очекује се до 2019. године.

У зависности од хранива за које се енергетска вредност израчунава, овај систем као улазне променљиве користи: сирове протеине, сирове масти, пепео, безазотне екстрактивне материје, сирову целулозу, суву материју итд. Оригинални прорачун је у kcal/kg и изражен на суву материју, али је овде, ради поређења са европским моделом прерачунат на MJ/kg.

$$ME \text{ (MJ/kg)} = 0,1515 \times CP + 0,3575 \times EE + 0,1559 \times BEM \text{ (за кукуруз)}$$

$$ME \text{ (MJ/kg)} = 0,1402 \times CP + 0,2561 \times EE + 0,1418 \times BEM \text{ (за јечам)}$$

Поредећи формулу за кукуруз и формулу за јечам, видимо да протеини, масти и безазотне екстрактивне материје из јечма не обезбеђују живини подједнаку количину енергије као исте хранљиве материје из кукуруза. Разлог за то је, пре свега, већа количина влакана у јечму, која не само да се слабо вари него и отежава варење сварљивијих компоненти и на тај начин умањује енергетску вредност. Ако упоредимо ове две формуле са европским моделом, можемо видети да су улазне променљиве, тј. параметри који се узимају у обзир при прорачуну енергетске вредности слични. Разлика је што се у старијем, америчком систему уместо скроба и шећера користи старији показатељ за лако доступне угљене хидрате, БЕМ.

Француски енергетски систем за свиње

Француски Национални институт за пољопривредна истраживања, препоручио је у својој публикацији (INRA, 2004) низ приступа за одређивање енергетских вредности хранива за исхрану свиња. Ови приступи се међусобно разликују у својој сложености и намени. Многи од њих су намењени за одређено храниво или групу хранива, а овде ће бити приказан један који је универзалан и релативно једноставан. У овом моделу, најпре се на основу састава хранива рачуна сварљива енергија (CE), а онда се на основу сварљиве енергије и састава хранива рачуна нето

енергија (HE). У овом моделу не рачунају се укупна и метаболичка енергија, док је у неким другим моделима то случај. За добијање CE се користе сирови протеини (СП), сирове масти (ЕЕ), скроб, неутрална детергентска влакна (NDF) и остатак који се добија тако што се од укупне количине органске материје одузму СП, ЕЕ, скроб и NDF. За добијање HE се, поред CE, користе СП, ЕЕ, скроб и сирова целулоза (СЦ). Све ове вредности су изражене у процентима суве материје.

$$CE(MJ/kg)=0,2247 \times СП + 0,3171 \times ЕЕ + 0,172 \times \text{скроб} + 0,032 \times NDF + 0,1632 \times \text{остатак}$$

$$HE(MJ/kg)=0,703 \times CE + 0,066 \times ЕЕ + 0,02 \times \text{скроб} - 0,041 \times СП - 0,041 \times СЦ$$

Из формуле за рачунање сварљиве енергије се може видети да је овде у обзир узета сва органска материја присутна у храни, с тим да је количина енергије која се добија из NDF-а веома мала, због веома ниске сварљивости влакнастих угљених хидрата код свиња.

Формула за рачунање нето енергије показује да се сварљива енергија из различитих хранљивих материја користи са различитом ефикасношћу, односно да сама сварљивост енергије не даје потпуну слику о њеној доступности животињама. Сварљива енергија масти и скроба се користи ефикасније, док се сварљива енергија из протеина и влакана користи мање ефикасно. У случају протеина, основни разлог за ово су губици енергије путем урина, због немогућности коришћења аминок групе за добијање енергије, док је у случају влакана основни разлог губитак енергије у форми гасова при ферментацији у дебелом цревима.

Југословенски енергетски систем за преживаре

Осамдесетих година прошлог века, а на бази холандског система за преживаре, проф. др Чедомир Обрачевић направио је југословенски нето енергетски систем. Ипак, овај систем није ушао у званичну употребу па се у Републици Србији енергетска вредност хране за преживаре и даље званично изражава по једном веома старом и тешко применљивом енергетском систему, развијеном још у СССР-у, овсеним јединицама (Службени гласник РС, 4/2010). Обрачевићев систем је умерене сложености и може послужити као добар пример старијих система за процену енергетске вредности хранива за преживаре. Овај систем као улазне променљиве користи састав хране, али и табличне коефицијенте сварљивости, тако да прорачун није универзалан за сва хранива и не може се применити на смеше или оброке. У овом систему, за разлику од једноставнијих система који се користе код живине, жељена енергетска вредност се добија постепено, у више корака и уз коришћење више формула. Најпре се израчунају садржај укупне (УЕ) и метаболичке енергије (МЕ), а затим се на основу њиховог односа (q), рачуна ефикасност коришћења метаболичке енергије код грла намењених производњи млека (k_l) и ова ефикасност код грла у тову (k_{mf}). Укупна енергија се рачуна на основу садржаја хранљивих материја у храниву, а метаболичка на основу садржаја сварљивих хранљивих материја у храниву. Сварљиве хранљиве материје (ССП, СЕЕ, ССЦ, СБЕМ) се добијају користећи табличне коефицијенте сварљивости, који варирају од хранива до хранива, али су углавном високи за безазотне екстрактивне материје, а ниски за сирову целулозу. Оригинални прорачун користи садржај хранљивих материја исказан у g/kg, али је овде прерачунат тако да користи проценте, ради упоредивости са претходним моделима. Модел укључује и корекцију за садржај шећера, али се она код већине хранива може занемарити.

$$UE = 0,2414 \times CP + 0,3657 \times EE + 0,2092 \times CP + 0,1699 \times BEM$$

$$ME = 0,1715 \times CCP + 0,3766 \times CEE + 0,1380 \times CCP + 0,1464 \times CBEM$$

$$q = ME / UE$$

Поређењем формуле за метаболичку енергију код преживара са онима код живине, видимо да је у код преживара као извор енергије укључена и целулоза. Захваљујући микробијалном варењу, преживари успевају да искористе део енергије из целулозе, мада ни код преживара њено коришћење није подједнако успешно као коришћење лако сварљивих угљених хидрата. Поређењем формула за УЕ и МЕ видимо да сварљиве масти имају сличан (чак благо виши) енергетски садржај као укупне масти, док је код БЕМ-а, целулозе и протеина, МЕ вредност доста нижа од УЕ вредности. Разлог томе су губици гасова приликом микробијалног варења коме подлежу угљени хидрати и протеини, као и немогућност коришћења аминок групе из протеина, која се избацује урином у форми урее.

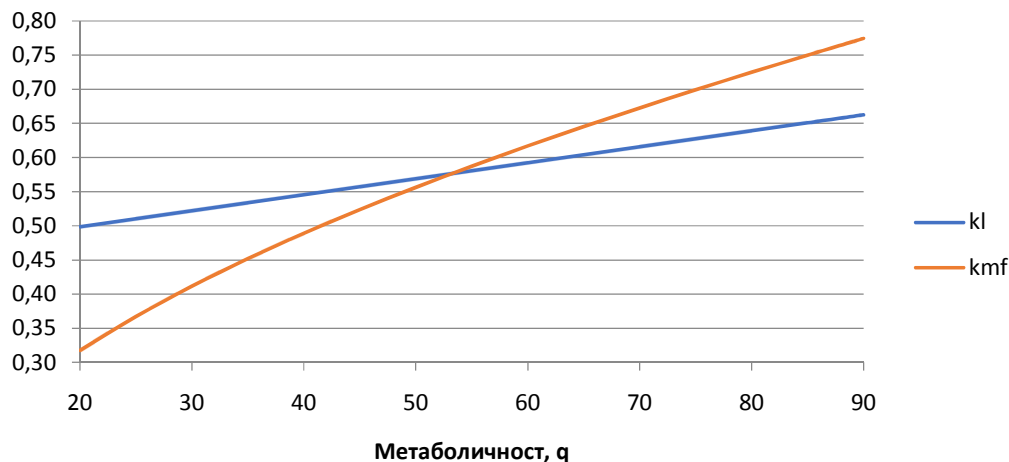
Метаболичност енергије ($q = ME / UE$) зависиће од удела протеина, масти, целулозе и БЕМ-а у храниву, али још више од њихове сварљивости. Хранива са доста масти и добром сварљивошћу имаће високу метаболичност, док ће хранива са много целулозе и слабом сварљивошћу имати ниску метаболичност. Како су губици топлоте, које представљају разлику између метаболичке и нето енергије повезани са високим нивоом влакана, као и слаба сварљивост, утврђено је да се на основу метаболичности може проценити даља ефикасност коришћења енергије, тј. коефицијенти за прерачунавање МЕ у нето енергију, k_l и k_{mf} . Иако се из самих формула то на први поглед не може видети, са графикона (слика 57) је јасно да је ефикасност коришћења хранива са различитом метаболичношћу мање варијабилна код музних грла, а више код грла у тову. Такође се може видети да преживари изгубе значајан део енергије у облику повећаног ослобађања топлоте, односно да је разлика између МЕ и НЕ, релативно велика.

$$k_l = 0,585 + 0,00234 \times (q-57)$$

$$NE_{\text{л}} = ME \times k_l$$

$$k_{mf} = \frac{(0,0078 \times q + 0,006) \times (0,0043 \times q + 0,831)}{0,0092 \times q + 0,283}$$

$$NE_M = ME \times k_{mf}$$



Слика 57. Утицај метаболичности на ефикасност коришћења метаболичке енергије код крава музара (k_l) и јунади у тову (k_{mf}).

Француски систем (INRA, 2004) за процену енергетске вредности хранива за преживаре, сличан је југословенском по томе што се полази од прорачуна укупне и метаболичке енергије, а онда се на основу метаболичности рачунају коефицијенти k_l и k_{mf} , који се користе за добијање нето енергетских вредности. Разлика је у томе што се УЕ и МЕ добијају на други начин, а коначне НЕ_л и НЕ_м вредности се деле са садржајем НЕ_л и НЕ_м у стандардном јечму, тако да се добијена вредност назива (јечмена) хранљива јединица за производњу млека (UFL) и (јечмена) хранљива јединица за производњу меса (UFV). Примера ради, зрно овса, које има много влакана, има UFL вредност 0,77, а UFV вредност 0,71, што значи да је нето енергетска вредност овса у исхрани крава за 23% нижа од вредности стандардног јечма, док је у случају исхране товне јунади, ова разлика још већа и износи, 29%. Насупрот томе, зрно соје, које је богато мастима и добро сварљиво, има UFL и UFV вредности 1,3, односно за 30% је богатије нето енергијом од стандардног јечма.

Амерички нето енергетски систем за музне краве

Исхрана животиња, а нарочито исхрана музних крава, веома се много истражује на бројним универзитетима у САД, па је тамо развијено више различитих модела за ову намену, од којих се неки одликују великом сложености. Ипак, најшире је прихваћен модел препоручен од стране америчког Националног истраживачког већа (NRC, 2001). Овај модел може послужити као пример савремених, сложенијих модела, а ипак је довољно прост да се може приказати и разумети у разумном времену. Између овог и југословенског система постоје бројне разлике, али је вероватно кључна та што се сварљивост у овом моделу предвиђа на основу састава хранива и нивоа конзумације, док се у југословенском систему узима фиксна сварљивост хранљивих материја код неког хранива. Такође, овај систем се у великој мери ослања на параметра из Van Soest анализе влакана, а не користи старије параметре, сирову целулозу и БЕМ. Сви прорачуни се обављају на бази суве материје.

Приказане су формуле NRC система за процену сварљивости хране код преживара. Осим што се овде сварљивост рачуна на основу састава хранива, разлика је и у томе што се, за разлику од југословенског система који користи привидне сварљивости, овде рачунају праве сварљивости хранљивих материја, тј. издваја се метаболички губитак хранљивих материја.

$$tdFA = FA \text{ или } EE-1 \quad (100\%)$$

$$tdNFC = NFC \times 0,98 \times PAF \quad (98\%)$$

$$tdCPf = CP \times \exp(-1,2 \times (ADICP/CP)) \text{ за кабаста хранива} \quad (85 \text{ до } 95\%)$$

$$tdCPc = CP \times (1 - 0,4 \times (ADICP/CP)) \text{ за концентрована хранива} \quad (95 \text{ до } 100\%)$$

$$tdNDF = (NDF_{cp} - L) \times 0,75 \times (1 - (L/NDF_{cp})^{0,667}) \quad (30 \text{ до } 70\%)$$

Сварљивост масних киселина, које се могу приближно добити као проценат сирових масти минус 1%, рачуна се да је потпуна. Сварљивост нефиброзних угљених хидрата, у које спадају скроб, шећери и пектини, рачуна се као скоро потпуна (98%). Само код појединих хранива, ова сварљивост се коригује помоћу PAF фактора, па је тако сварљивост боља код термички третиране пшенице, где је скроб боље сварљив, а мања код кукурузне силаже, где део скроба несварен прође

кроз дигестивни тракт. Сварљивост протеина рачуна се на основу тога колики део протеина чини ADICP, протеин у ADF-у, односно на основу тога колико је протеина везано за целулозу и лигнин. Прорачун се разликује за кабаста и концентрована хранива. За већину уобичајно коришћених концентрованих хранива, права сварљивост протеина је веома висока и износи 95 до 100%. Изузеци су споредни производи прераде кромпира, парадајза, јабука, кукурузне кочанке итд. Код кабастих хранива права сварљивост протеина је такође релативно висока и износи око 85 до 95%. Изузетак су сламе и ферментисана кабаста хранива у којима је дошло до развоја високих температура. Високе температуре могу довести до везивања протеина са влакнима што смањује њихову сварљивост. Најнижа и најваријабилнија је сварљивост влакана. Укупна количина потенцијално сварљивих влакана у NRC систему се рачуна као NDF умањен за лигнин и NDICP (протеин у NDF-у), а сварљивост влакана се рачуна на основу удела лигнина. Најбоља је сварљивост влакана тамо где је њихова лигнифицираност мала, као што је обично случај у репином резанцу, сојиним љускама, квалитетној кукурузној силажи, квалитетној испашу, и достиже 60 до 70%. Најслабија је сварљивост тамо где је лигнифицираност велика, као у сунцокретој, репициној, памуковој и кикирикијевој сачми, где је сварљивост влакана 30 до 50%.

На основу овако добијених сварљивих хранљивих материја, рачуна са сварљива енергија. Оригинални прорачун је у Mcal, али је овде због упоредивости са другим системима, прерачунат у MJ. Слободни члан у формули за CE (-1,26 MJ/kg), представља губитак енергије путем метаболичке фракције у фецесу, и овде се урачунава због коришћења праве уместо привидне сварљивости. Након што се добије CE, она се коригује у зависности од конзумације и енергетске вредности оброка у коме се храниво користи. Наиме, при високој конзумацији долази до смањења сварљивости, а ово је изражено код оброка са већом енергетском вредношћу. За овај део прорачуна користи се старији енергетски показатељ, укупне сварљиве хранљиве материје - ТДН (TDN- total digestible nutrients), који се добија као $tdNFC + tdCP + tdNDF + 2,25 \times tdFA - 7$. И у овој формули слободни члан (-7) представља губитак енергије путем метаболичке фракције у фецесу. Ако се храниво користи у obroку са 74% ТДН-а, CE се смањује за 3% при конзумацији двоструко већој од уздржних потреба, за 6% при конзумацији троструко већој од уздржних потреба и за 9% при конзумацији четвороструко већој од уздржних потреба. При оброцима са ТДН-ом нижим од 60, сварљивост се не мења зависно од конзумације.

$$CE(MJ/kg) = 0,2343 \times tdCP + 0,3933 \times tdFA + 0,1757 \times tdNFC + 0,1757 \times tdNDF_{cp} - 1,26$$

$$\text{Умањење сварљивости, \%} = \text{ниво конзумације изнад уздржног} \times (0,18 \times \text{ТДН} - 10,3)$$

$$ME (MJ/kg) = 1,01 \times CE - 1,88$$

$$NEL (MJ/kg) = 0,703 \times ME - 0,8$$

Метаболичка енергија се релативно једноставно израчунава на основу сварљиве енергије умањене према нивоу конзумације, а исто тако нето енергија на основу метаболичке енергије. За сва хранива овај прорачун је исти, осим за хранива богата мастима. Пошто при варењу масних киселина нема губитака путем гасова ни путем урина, а губитак топлоте при коришћењу масти је мањи, код хранива која имају преко 3% ЕЕ, претходне две формуле се коригују тако да урачунају да је код масти $ME = CE$, а $NEL = 0,8 \times ME$. Ово донекле чини прорачун сложенијим.

Амерички нето енергетски систем за краве није потпуно универзалан, због коришћења ПАФ корекционог фактора и разлике у прорачуну сварљивости протеина за кабаста и концентрована хранива, али је највећи део модела универзалан и може послужити за одређивање енергетске вредности смеша и оброка, што је његова велика предност. При исказивању енергетских вредности из овог система, потребно је приказати и ниво конзумације и ТДН вредност оброка, пошто су НЕЛ вредности из овог система под значајним утицајем ових фактора. Зрно кукуруза које има НЕЛ вредност 9,3 MJ/kg СМ у исхрани крава које конзумирају само онолико хране колико им је неопходно за уздржне потребе, имаће свега 7,9 MJ/kg СМ у исхрани крава које конзумирају 4 пута више хране од уздржних потреба и чији оброк садржи 74% ТДН-а.

5.4. УСКЛАЂИВАЊЕ САСТАВА ХРАНЕ СА ПОТРЕБАМА ЖИВОТИЊА

Крајњи циљ свих напора и средстава уложених у предвиђање нутритивних потреба животиња и оцену квалитета хране јесте њихов утицај на састав хране којом ће се животиње хранити. Само ако резултате анализа користимо да би избалансирали смеше и оброке за животиње које хранимо и донели одлуке да ли ћемо неко храниво уопште користити, само онда анализе хране имају смисла. Сазнање да је неко храниво бољег или лошијег квалитета, са више или мање лизина, контаминирано афлатоксином или без његовог присуства, само по себи није вредно. Једино ако те податке употребимо за доношење правих одлука које ће резултирати бољим здрављем, производњом и већим оствареним профитом, једино тада ће читав процес оцене квалитета хранива бити исплатив и имати смисла.

Домаће животиње се ретко када хране само једним хранивом. Изузетак могу бити животиње на испаша, које уз свежу траву коју конзумирају често добијају само сточну со, или младунци сисара који се у првом периоду живота хране само млеком. Ипак, у већини ситуација, користи се велики број различитих хранива и додатака који сви заједно треба да резултирају obroком који задовољава све нутритивне потребе животиња. Типичан дневни оброк за преживаре, састоји се од два-три различита кабаста хранива и једног концентрата, тј. потпуне смеше концентрованих хранива. Концентрат се, опет, обично састоји од неколико енергетских, неколико протеинских, неколико минералних хранива и једног премикса. Премикс садржи бар десетак различитих компоненти, укључујући изворе микроелемената и витамина, као и различите адитиве. Све ове компоненте треба да буду укључене у тачно одговарајућој количини да би укупни оброк садржао адекватне количине свих потребних хранљивих материја. Није неопходно да поједина хранива буду одређеног квалитета, већ је битан квалитет укупног оброка. Нпр. ако сојина сачма садржи мању количину протеина, већом количином такве сојине сачме унеће се у оброк иста количина протеина као са мањом количином квалитетније сојине сачме. Свако храниво утиче на састав смеше или оброка у коме учествује пропорционално своме учешћу у смеси или obroку. Нпр. ако сојина сачма са 44% СП чини 20% неке смеше, удео протеина који уноси у ту смешу је $44\% \times 20\% = 8,8\%$. Ако остатак смеше, 80%, чини кукуруз са 8% протеина, он ће у смешу унети $80\% \times 8\% = 6,4\%$ протеина, па ће укупна смеша имати 15,2% СП. Ако у дневни оброк музних крава додамо 100 g сточне креде која садржи 36% калцијума, креда ће у овај оброк унети $100\text{ g} \times 36\% = 36\text{ g}$ калцијума.

Једноставни оброци или смеше могу се избалансирати користећи неколико хранива и узимајући у обзир неколико хранљивих материја, помоћу једноставних математичких поступака, као што су једначине са две или три непознате или

Пирсонов квадрат. На пример, ако се жели направити смеша са 20% протеина мешањем јечма који садржи 10% протеина и сојине погаче која садржи 40% протеина, систем једначина ће изгледати овако:

$$10 \times J + 40 \times C = 20$$

$$J + C = 100\%$$

Решавањем овог система једначина добићемо да је удео јечма у избалансираној смеши, $J = 67\%$, а удео сојине погаче, $C = 33\%$. Данас је коришћење оваквих једноставнијих поступака балансирања углавном од малог значаја. Захваљујући великој доступности рачунара могуће је у процес балансирања укључити велики број различитих хранива и читав низ хранљивих материја, а цео сложени математички поступак рачунар изводи у тренутку.

Доминантан начин усклађивања састава obroка са потребама животиња је лист кост (*least cost*) оптимизација, тј. оптимизација на најнижу цену. Овај поступак се темељи на линеарној оптимизацији, и у њему се од огромног низа могућих решења која сва задовољавају постављене услове у погледу нутритивних захтева, проналази оно решење које је најјефтиније.

Пример балансирања смеше оптимизацијом на најнижу цену

На располагању имамо 16 хранива чији су хемијски састав и цена приказани у табели 54. Желимо да од ових хранива направимо смешу за тов јагњади која ће имати следећи хемијски састав: 17-20% протеина, 15-20% NDF, 0,8-1% калцијума, 0,6-0,8% фосфора и 0,3-0,4% натријума. Уз то, смеша треба да садржи 15-25% житарица које садрже брзоферментишући скроб (пшеница, тритикале и јечам), не више од 20% сојиног гриза, не више од 15% сунцокретове сачме, не више од 3% квасца и тачно 1% премикса, као извора микроелемената и витамина.

У табели 55 је приказано осам могућих решења претходно постављеног задатка. Број могућих смеша састављених од ових хранива, а које задовољавају наведене услове је бесконачан. Могуће је направити смешу са само 7 хранива (решење 1) или са свих 16 (решење 2). Кукуруз може чинити преко 50% смеше (решење 3) или уопште не мора бити укључен у смешу (решење 4). Овас може чинити до 37% смеше, мекиње до 33%, сојина погача до 35%, а могуће је да свако од ових хранива буде изостављено из смеше. Једине две компоненте које су у овом примеру биле неизоставне и налазе се у свих осам приказаних решења, као и у свим осталим могућим, а неприказаним решењима, су сточна со и премикс. Сточна со је једино храниво од понуђених које је богато натријумом, па је немогуће постићи жељени садржај натријума без њеног коришћења. Ако би у понуди хранива имали неки други извор натријума, као што је натријум бикарбонат, ни сточна со не би морала бити укључена у сваку смешу. Слично томе, у понуди минералних хранива имамо два извора фосфора, монокалцијум фосфат (МКФ) и дикалцијум фосфат (ДКФ). У сваку од смеша је укључен макар један од њих, пошто ниво фосфора без додатка ових хранива не би био довољан у овом примеру. Премикс је сваки пут укључен да би се обезбедили адекватни нивои микроелемената и витамина, чији садржај нисмо обрачунавали у овом примеру, али је свакако веома битан за нормално здравље и максималну производњу животиња.

Табела 54. Састави и цена хранива доступних за састављање смеше.

	Протеини	NDF	Калцијум	Фосфор	Натријум	ЦЕНА, дин/kg
Кукуруз	8%	10%	0,02%	0,2%	0,01%	16
Пшеница	12%	13%	0,08%	0,3%	0,01%	20
Тритикале	10%	13%	0,07%	0,3%	0,01%	20
Јечам	10%	21%	0,07%	0,3%	0,01%	18
Овас	10%	33%	0,11%	0,3%	0,01%	22
Мекиње	15%	39%	0,15%	0,9%	0,01%	17
Сојин гриз	37%	15%	0,30%	0,5%	0,05%	65
Сојина погача	41%	19%	0,30%	0,5%	0,00%	64
Сојина сачма	44%	13%	0,30%	0,6%	0,04%	67
Сунц. сачма	33%	36%	0,40%	1,1%	0,15%	28
Квасац	45%	7%	0,30%	1,2%	0,20%	48
Сточна креда			36,0%			5
МКФ			20,0%	22,0%		70
ДКФ			24,0%	16,0%		60
Сточна со					38,0%	15
Премикс (1%)			30,0%			100

Табела 55. Састави осам различитих смеша за исхрану јагњади у тову.

Решење	1	2	3	4	5	6	7	8
Кукуруз	36%	18%	53%		30%	50%	8%	29%
Пшеница		10%			15%			25%
Тритикале		10%		25%		15%	15%	
Јечам	25%	5%	15%					
Овас		10%		37%			35%	
Мекиње		10%			33%	2%		19%
Сојин гриз		5%		20%			20%	
Сојина погача	35%	5%				12%	17%	
Сојина сачма		10%	16%	11%	15%			6%
Сунц. сачма		10%	13%			15%		15%
Квасац		3%		3%	3%	3%		3%
Сточна креда	0,3%	0,9%	0,5%		0,5%	0,6%		1,4%
МКФ	1,3%	0,5%	1,0%	0,6%		0,8%	1,0%	0,3%
ДКФ		0,5%		1,7%	1,7%		1,4%	
Сточна со	0,8%	0,9%	0,7%	0,9%	1,0%	0,7%	1,0%	0,7%
Премикс (1%)	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
ЦЕНА, дин/kg	34,8	30,9	27,4	37,5	27,0	26,4	38,6	23,7

Циљ линеарне оптимизације на најнижу цену је да од свих могућих решења нађе оно најјефтиније. У овом примеру, то је решење број 8. Насупрот њему, најскупље могуће решење је решење број 7. Као што се може видети поређењем ова два решења, смеше које задовољавају све предвиђене захтеве, могу се веома разликовати у погледу цене. Смеша број 7 је скупља од смеше број 8 за готово 15 дина/kg. У савременој масовној производњи, важне су и много мање разлике у цени, па чак и оне од неколико пара по килограму смеше. Због тога је лист кост оптимизација доминантан начин прављења рецептура за исхрану животиња.

Поред линеарне оптимизације на најмању могућу цену, могући су и други приступи у прављењу рецептура. Један од њих је стохастичка оптимизација на максималан ниво сигурности, која узима у обзир поузданост појединих података које користимо приликом прављења рецептуре и обезбеђује да ризик одступања састава смеше од жељених вредности буде што нижи, а у оквиру предвиђених финансијских могућности, односно уз задату цену. Други пример може бити оптимизација на максималан профит, где се помоћу нелинеарних једначина доводе у везу састав смеше и производне перформансе животиња и тражи се оно решење при коме је остварена разлика између прихода од производње и улагања у производњу највећа. Ови примери захтевају нелинеарну оптимизацију, која је математички доста сложенији поступак од линеарне оптимизације, али захваљујући напретку рачунара, оба поступка су данас лако и брзо изводљива уз коришћење адекватног софтвера.

Поред свих напора који се улажу у проналажење најбољих рецептура за исхрану животиња, треба бити свестан да се труд уложен у овај процес не завршава са рецептуром (Гламочић, 2002). Веома је важно пажљиво контролисати припрему хране и њен унос од стране животиња, пошто се оброк који животиње добијају може битно разликовати од онога на папиру (квалитет хранива, одмеравање хранива, умешаност...), а опет оброк који заиста унесу често неће бити идентичан obroку који је дат животињама (мања или већа конзумација, бирање хране, конзумирање простирке...). Додатно је питање шта ће животиње од унете хране сварити и искористити.

ТЕРМИНИ ВАЖНИ ЗА ИСХРАНУ ЖИВОТИЊА

Храна за животиње - све што се користи за исхрану животиња. Хранива, смеше, премикси, адитиви.

Храниво - производ намењен за исхрану животиња, који служи као извор хранљивих материја и може се давати животињама директно или као део смеша и премикса. Зрно јечма, сојина сачма, сено луцерке, силажа целе биљке кукуруза, дикалцијум фосфат, сточна со...

Додаци (адитиви) храни за животиње - супстанце које се користе ради побољшања квалитета хране, повећања производње, побољшања здравља животиња итд. По правилу се користе у малим количинама и често захтевају опрезно руковање. Ензими, антиоксиданти, ароме, закишељивачи, пробиотици, адсорбенти микотоксина...

Смеша за исхрану животиња - хомогена мешавина хранива, а обично и додатака храни, намењена за исхрану животиња. Смеше могу бити потпуне и допунске. Потпуне смеше задовољавају све нутритивне потребе животиња (осим у случају животиња које захтевају и кабаста хранива), док допунске смеше обично имају високе концентрације протеина, минерала и витамина и приликом коришћења се разблажују мешањем са житарицама. У неформалном говору, за потпуне смеше се користи термин „концентрат“, а за допунске смеше термин „супер концентрат“ или краће „супер“.

Предсмеша (премикс) - производ са високом концентрацијом витамина, минерала, додатака храни итд. Додаје се у смеше у малом уделу. Код нас се најчешће користе два типа премикса. Премикси којих се у потпуне смеше додаје 1% (тзв. једнопроцентни) обично садрже витамине и микроелементе, а премикси који се у смешама користе у већим уделима (тзв. вишепроцентни, обично 2 до 10%) поред тога садрже и макроеlemente, а у случају непреживара и аминокиселине. Поред ових, у свету се често користе и одвојене предсмеше минерала и витамина, које се додају у још мањим уделима, „модули“.

Оброк - укупна храна којом се животиња храни током једног дана. За разлику од исхране људи, где се под obroком уобичајно подразумева храна коју човек поједе одједном, у исхрани животиња, оброк уобичајно има значење укупне хране коју животиња добија током целог дана, а не током једног храњења. Да би било јасније, користи се и термин дневни оброк. Оброк је нарочито значајан термин у исхрани преживара. Нпр. оброк за товну јунад се може састојати од 10 kg силаже целе биљке кукуруза, 1 kg сламе и 5 kg потпуне смеше (концентрата). У исхрани непреживара, нарочито при храњењу по вољи, термин оброк се ређе користи.

Врста, биолошка категорија, скуп животиња (или других организама) које се могу међусобно размножавати. Домаће говече, овца, коза, свиња, кокош, ћурка, гуска, патка итд.

Раса, зоотехничка категорија, скуп животиња који се одређеним карактеристикама разликује од других припадника исте врсте. Сименталско и

холштајн-фризијско говече; праменка, виртемберг и ил де франс овца; алпска и санска коза; јоркшир, ландрас, пијетрен и дурок свиње итд. Поред расних животиња, у савременој сточарској производњи се користе и **хибриди**, животиње добијене укрштањем различитих раса или линија. У свињарству су чести међурасни хибриди, а у живинарству су линијски хибриди готово потпуно заменили расе.

Категорија, зоотехничка категорија, скуп животиња истог пола, узраста и производне намене. Телад, приплодне јунице, товна јунад, музне краве, примери су категорија код говеда.

Телесна кондиција, тренутно стање животиње, најчешће подразумева степен угојености, односно количину масних наслага. Нпр. код музних крава, на скали од 1 до 5, изразито мршава крава ће добити оцену телесне кондиције 1, а изразито угојена крава оцену 5. Најпожељнија ће бити оцена 3.

6. ЛИТЕРАТУРА

Al Rekhawi, H.A., Ayyad, A.A., Abu Naser, S.S.: *Rickets Expert System Diagnoses and Treatment*. International Journal of Engineering and Information Systems. 1(4), 149-159, 2017.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL): *Gruber Tabelle zur Fütterung in der Rindermast*. Druckhaus Kastner, Wolnzach, 2013.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL): *Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe, Ziegen*. Kastner AG, Wolnzach, 2015.

Borah, S.: *Amino Acids in Swine Nutrition*. Technical article. Engormix, 2013.

Dittmer, K.E., Thompson, K.G., Blair, H.T.: *Pathology of inherited rickets in Corriedale sheep*. Journal of Comparative Pathology, 141, 147–155, 2009.

D'Mello, J.P.F.: *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. CABI Publishing, Wallingford, UK, 2000.

EC 152/2009. *Commission regulation laying down the methods of sampling and analysis for the official control of feed*. Official Journal of the European Union L 54/1, 2009.

Ensminger, M.E., Oldfield, J.E., Heinemann, W.W.: *Feeds and Nutrition*. Clovis, California. USA, 1990.

Evonik Industries. (eds.) Redshaw, M.S., Fickler, J., Fontaine, J., Heimbeck, W., Hess, V., Reimann, I.: *Amino Acid Composition of Feedstuffs*, 2010.

Fuller, M.F., Benevenga, N.J., Lall, S.P., McCracken, K.J., Omed, H.M., Axford, R.F.E., Philips, C.J.C.: *The Encyclopedia of Farm Animal Nutrition*. CABI Publishing, Cambridge, 2004.

Glamočić, D.: *Ishrana preživara – praktikum*, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2002.

Grbeša, D.: *Metode procjene i tablice kemijskog sastava i hranjive vrijednosti krepih krmiva*. Hrvatsko agronomsko društvo, Zagreb, 2004.

Institute National de la Recherche Scientifique (INRA): *Tables of composition and nutritional value of feed materials*, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands & INRA, France, 2004.

Jovanović, R., Dujčić, D., Glamočić, D.: *Ishrana domaćih životinja*. Novi Sad, 2001.

Kirchgessner, M., Roth, E.X.: *Fumaric acid as a feed additive in pig nutrition*. Pig news and Information 3(3), 1978.

Kellems, R.O., Church, D.C.: *Livestock Feeds and Feeding*, 6th Edition. Prentice Hall, Boston, 2009.

Lanzas, C., C.J. Sniffen, S. Seo, L.O. Tedeschi and D.G. Fox.: *A revised CNCPS feed carbohydrate fractionation scheme for formulating rations for ruminants*. Animal Feed Science and Technology, 136 (3-4):167-190, 2007.

Ledoux, D.R., Shannon, M.C.: *Bioavailability and Antagonists of Trace Minerals in Ruminant Metabolism*. Florida Ruminant Nutrition Symposium, 2005.

Lloyd, W.E.: *Feed additives toxicology*. Iowa State University, 1978.

Marshall, J., Bregendahl, K., Coverdale, J., Hansen, C: *Animal Feeding and Nutrition*, 11th edition. Kendall/Hunt Publishing, Iowa, US, 2013.

Maynard, L.A., Loosli, J.K., Hintz, H.F., Warner, R.G.: *Animal Nutrition*, 7th edition. McGraw Hill, New York, 1979.

Mavromichalis, I., Emmert, J.L., Aoyagi, S., Baker, D.H.: *Chemical composition of whole body, tissues, and organs of young chickens (Gallus domesticus)*. Journal of food composition and analysis, 13(5), 799-807, 2000.

McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G.: *Animal Nutrition*. Pearson UK, 2011.

McDowell, L.R.: *Vitamins in Animal and Human Nutrition*, 2nd edition. Iowa State University Press, Ames, IA, 2000.

Moniello, G., Infascelli, F., Pinna, W., Camboni, G.: *Mineral requirements of dairy sheep*. Italian Journal of Animal Science, 4(sup1), 63-74, 2005.

National Research Council (NRC): *Nutrients and Toxic Substances in Water for Livestock and Poultry*. National Academy Press, 1974.

National Research Council (NRC): *Nutrient requirements of poultry*. National Academies Press, 1994.

National Research Council (NRC): *The Role of Chromium in Animal Nutrition*. National Academy Press, 1997.

National Research Council (NRC): *Nutrient requirements of swine*. National Academies Press, 1998.

National Research Council (NRC): *Nutrient requirements of dairy cattle*. National Academies Press, 2001.

National Research Council (NRC): *Mineral Tolerance of Animals, second revised edition*. National Academies Press, 2005.

Noblet, J., Bontems, V., Tran, G.: *Estimation de la valeur énergétique des aliments pour le porc*. INRA Prod. Anim. 16(3), 197-210, 2003.

Pesti, G.M., Bakalli, R.I., Driver, J.P., Atencio, A., Foster E.H.: *Poultry Nutrition and Feeding*. Trafford publishing, Victoria, Canada, 2005.

Pond, W.G., Church, D.C., Pond, K.R.: *Basic Animal Nutrition and Feeding*. John Wiley and Sons, New York, 1995.

Pond, W.G., Church, D.C., Pond, K.R., Schoknecht, P.A.: *Basic Animal Nutrition and Feeding, 5th Edition*. John Wiley and Sons, New York, 2004.

Radanov-Pelagić, V.: *Mikrobiologija stočne hrane*. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2000.

Službeni list SFRJ: *Pravilnik o metodama uzimanja uzoraka i metodama fizičkih, hemijskih i mikrobioloških analiza stočne hrane*. Službeni list SFRJ, 15/87, 1987.

Službeni glasnik RS: *Pravilnik o kvalitetu hrane za životinje*. Službeni glasnik RS, 4/2010.

Sniffen, C. J., J. D. O'Connor, P. J. Van Soest, D. G. Fox and J. B. Russell: *A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability*. J. Anim. Sci., 70:3562-3577, 1992.

Stanton, T.L., LeValley, S.: *Feed composition for cattle and sheep*. Service in action; no. 1.615, 2014.

Starčević, K., Mašek, T., Brozić, D., Filipović, N., Stojević, Z.: *Growth performance, serum lipids and fatty acid profile of different tissues in chicken broilers fed a diet supplemented with linseed oil during a prolonged fattening period*. Veterinarski arhiv, 84(1), 75-84, 2014.

Suttle, N.: *Mineral Nutrition of Livestock*, 4th Edition, British Library, London, 2010.

Tisch, D.A.: *Animal Feeds, Feeding and Nutrition, and Ration Evaluation*. Thomson Delmar Learning, New York, 2006.

Van Soest, P.J.: *Nutritional Ecology of the Ruminant*. O&B Books, Inc., Corvallis, OR. 1982.

Ward, D. and McKague, K.: *Water requirements of livestock*. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, ON, Canada, 2007.

Wattiaux, M.A., Armentano, L.E.: *Carbohydrate metabolism in dairy cows*. Nutrition and Feeding. 1998. University of Wisconsin-Madison, Department of Dairy Science. The Babcock Institute, 1998.

Wattiaux, M.A.: *Protein metabolism in dairy cows*. Nutrition and Feeding. 1998. University of Wisconsin-Madison, Department of Dairy Science. The Babcock Institute, 1998.

Whittemore, C.T.: *Elements of Pig Science*. Longman Handbooks in Agriculture, 1987.

Zanton, G.I. and Heinrichs, A.J.: *Digestion and nitrogen utilization in dairy heifers limited a low or high forage ration at four levels of nitrogen intake*. Journal of Dairy Science, 92(5), 2078-2094, 2009.