



УНИВЕРЗИТЕТУ НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

ОПЛЕМЕЊИВАЊЕ БИЉАКА



ОПЛЕМЕЊИВАЊЕ БИЉАКА

Велимир Младенов

Велимир Младенов



проф. др Велимир Младенов

ОПЛЕМЕЊИВАЊЕ БИЉАКА

уџбеник

Едиција

Основни уџбеник

Оснивач и издавач едиције

Универзитет у Новом Саду,
Пољопривредни факултет Нови Сад,
Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 8

Година оснивања

1954.

Главни и одговорни уредник едиције

др Ненад Магазин, редовни професор
Декан Пољопривредног факултета Нови Сад

Чланови комисије за издавачку делатност

др Марица Петровић, ванредни професор – председник

др Зорица Срђевић, редовни професор – члан

др Ивана Давидов, редовни професор – члан

др Дејан Беуковић, доцент - члан

др Ксенија Мачкић, ванредни професор – члан

CIP Каталогизација у публикацији Библиотека
Матице српске, Нови Сад, а на основу:

ISBN:978-86-7520-641-5

Аутор

др Велимир Младенов, ванредни професор

Главни и одговорни уредник

др Ненад Магазин, редовни професор
Декан Пољопривредног факултета Нови Сад

Уредник

др Ђорђе Крстић, редовни професор
Директор Департмана за ратарство и повртарство
Пољопривредни факултет Нови Сад

Технички уредник

др Велимир Младенов, ванредни професор

Рецензенти

др Мирјана Љубојевић, редовни професор
Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет

др Борислав Бањац, ванредни професор.
Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет

Издавач

Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет Нови Сад
Забрањено прештампавање и фотокопирање. Сва права задржава издавач.

Штампа:

Штампање одобрила Комисија за издавачку делатност Наставно-научног већа
Пољопривредног факултета Нови Сад

Тираж: 20 примерака

Место и година штампања: Нови Сад, 2025.

ПРЕДГОВОР

Уџбеник из оплемењивања биљака је намењен студентима ратарско повртарског смера који предмет *Оплемењивање биљака* слушају у трећој години студија и студентима органске пољопривреде који слушају предмет *Оплемењивање биљака и семенарство* у другој години. Сва поглавља су повезана са знањем садржаја из предмета *Генетика*, које је студент требало да усвоји пре слушања курса оплемењивања биљака. Моја жеља је била да на студентима прилагођен начин, опишем комплексност, чар и лепоту оплемењивачког посла. Уџбеник је писан једноставним језиком, у складу са акредитованим планом и програмом предмета. Из поглавља у поглавље студенту се уводе нови термини и пред њих се постављају задаци. Уџбеник представља целину при чему је прво поглавље посвећено упознавању са оплемењивачком науком и истраживачима који су оставили трага у овој захтевној науци. Генетичка база је друго поглавље у ком сам се трудио да приближим студентима основе генетике на које ће се касније позивати кроз цео уџбеник и стога ово представља важно поглавље. Треће поглавље је посвећено најважнијој ствари у пракси оплемењивања биљака, а то је почетни материјал и варијабилност којој истраживач располаже на почетку свог рада. Методи оплемењивања биљака је најкомплексније поглавље, у ком сам покушао да уз бројне ауторске шеме поједноставим студентима схватање и разумевање поступака у биологији стварања нових генотипова. Пето поглавље описује важне појаве које се користе у пракси и истиче значај прикупљања и чувања гермплазме, као великог биолошког богатства планете. Шесто поглавље описује коришћене биотехнолошке методе, почев од најједноставнијих до најмодернијих. Оно представља прави искорак ка молекуларном оплемењивању биљака и нема пуно записа на ову тему у српској уџбеничкој литератури. Заштита интелектуалне својине, патенти и привилегије произвођача су такође до сада ненаписна поглавља, која представљају наставак који произилази из оплемењивачког посла. Као и сваки јавни посао, тако и оплемењивачка наука изазива реакције јавности, из које проистичу и друштвени проблеми којим се бави осмо поглавље књиге. Легислативе које уређују ову област, због брзог напредка науке су од огромног значаја, те је девето поглавље посвећено истима, док је

десето поглавље остављено за улаз у семенарство, као науку и праксу која прати и допуњује оплемењивачки посао одувек.

Овај уџбеник не представља приручник за оплемењивање биљака, већ дидактичко средство за студенте. Он им служи да стекну увид у сложеност и лепоту оплемењивачког посла. Нисам желео да одступам од акредитованог плана и програма предмета иако је писано и о најновијим сазнањима из струке, међутим тешко је написати новости у науци у којој се сваки дан нешто мења. Оплемењивање биљака је једна од наука где се сваке деценије дешава ново откриће и свака литература која изађе данас, већ сутра ће бити застарела. Но, уџбеник представља одабир најважнијих наставних јединица из ове области, од стране ангажованог наставника. Сигуран сам да би бројни професори и научни радници овај уџбеник написали боље од овог који је пред вама, али нису. Стога, надам се да неће остати усамљен и да ће му друштво правити сви који буду желели да издају свој. Овај уџбеник је настао, као и експресија квалитативних особина, захваљујући деловању много људи, али велико хвала дугујем селекционеру компаније KWS Бојану Драшковићу. Колегиница са предмета Рада Шућур освежила је рад групе Оплемењивање биљака и у великој мери свакодневницом убрзала издавање овог уџбеника. Посебну захвалност дугујем Пољопривредном факултету, као и рецензентима, проф. др Мирјани Љубојевић и проф. др Бориславу Бањцу, који су својим критикама донели побољшање квалитета публикације.

У Новом Саду, од фебруара 2022. до априла 2025.

САДРЖАЈ

1. ПОЈАМ ОПЛЕМЕЊИВАЊА БИЉАКА.....	1
1.1. Историјат селекције и коришћења биљака	1
1.2. Допринос модерног оплемењивања биљака	6
1.3. Геоцентри порекла њивских биљака	12
1.4. Утемељивачи оплемењивања биљака.....	14
2. ГЕНЕТИЧКА БАЗА ОПЛЕМЕЊИВАЊА БИЉАКА	18
2.1. Наследни материјал и закон хомологних редова	18
2.2. Размножавање и начини оплодње биљака	22
2.3. Сорта и хибрид.....	25
2.4. Фенотипизација	28
3. ПОЧЕТНЕ КОМПОНЕНТЕ У ОПЛЕМЕЊИВАЊУ БИЉАКА	31
3. 1. Генетичка варијабилност	31
3.2. Почетни материјал.....	34
3.3. Варијације у броју хромозома ратарских биљака	38
3.4. Мутације	39
3.5. Инкомпатибилност и стерилност	41
4. МЕТОДИ ОПЛЕМЕЊИВАЊА БИЉАКА.....	46
4.1. Оплемењивање самооплодних биљака.....	49
4.2. Оплемењивање странооплодних биљака	62
4.3. Оплемењивачке технике и интеракција генотипа са спољашњом средином.....	73
4.4. Оплемењивање на принос и генетички одговор на селекцију	77
5. ГЕРМПЛАЗМА, ЦИЉЕВИ И ПОЈАВЕ У ОПЛЕМЕЊИВАЊУ БИЉАКА	82
5.1. Генетички диверзитет и ресурси	82
5.2. Колекције и конзервација генетичког материјала	85
5.3. Инбрединг и хетерозис.....	88
5.4. Оплемењивање биљака на толерантност према абитичком и биотичком стресу	98
5.5 Закони популације	109
6. ПРИМЕНА БИОТЕХНОЛОШКИХ МЕТОДА У ОПЛЕМЕЊИВАЊУ БИЉАКА	112
6.1. Основи културе антера.....	112

6.2. Молекуларни маркери.....	113
6.3. Геномика, компаративна геномика и дигитални близанци	118
6.4. Калемљење и епигенетика	123
6.5. Crisper/Cas9	125
7. ИНТЕЛЕКТУАЛНА СВОЈИНА	128
7.1. Сорта као интелектуална својина.....	128
7.2. Значај заштите биљне сорте	133
7.3. UPOV и CPVO.....	134
7.4. Привилегија произвођача	136
7.5. Заштита сорти на молекуларном нивоу.....	138
8. ПОЉСКИ ОГЛЕДИ И ИНТЕРАКЦИЈА G×E	140
8.1. Важност пољских огледа	140
8.2. Однос статистичких метода и пољских огледа	142
8.3. Анализе стабилности.....	145
8.4. Недоумице и поделе јавности око ГМ организама	147
9. ПРЕГЛЕД ЗАКОНСКЕ ЛЕГИСЛАТИВЕ У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ И ЕВРОПСКОЈ УНИЈИ.....	151
9.1. Важећа ГМО легислатива	151
9.2. ЕУ легислатива о новим техникама у оплемењивању биљака	158
9.3. Закон о заштити права оплемењивача биљних сорти Р. Србије.....	163
9.4. Заштита нових биљних сорти патентним правима	167
9.5. Закон о семену и пратећи правилници	168
10. ПРОИЗВОДЊА СЕМЕНА	171
10.1. Категорије семена.....	171
10.2. Контрола семенске производње	173
10.3. Нераскидива веза оплемењивања биљака и семенарства.....	177
10.4. Зашто се људи баве оплемењивањем биљака?	180
Коришћена и наведена литература.....	183
Биографија аутора	185

1. ПОЈАМ ОПЛЕМЕЊИВАЊА БИЉАКА

1.1. Историјат селекције и коришћења биљака у прошлости

Израз селекција потиче из енглеског језика и у српски језик је дошао са подручја Уједињеног Краљевства Велике Британије и Северне Ирске, где су први писани документи у књизи Чарлса Дарвина „О пореклу врста“. Убрзо српски теоретичари и практичари преузимају израз селекција и проширују га, те овај појам постаје разумљив свима који су у то време у науци. Међутим, у предратном периоду четрдесетих година двадесетог века долази до потребе за новим термином који описује стварање бољих генотипова од постојећих и научна јавност предлаже термин оплећењивање биљака. Објашњење се темељи на томе да корен речи долази од придева племенит и именице племић. Поменути придев и именица подразумевају добре особине неке јединке, те се брзо уводе у употребу. Професор Зоњић, који је предавао селекцију на Пољопривредном факултету у Земуну пре другог светског рата у својој књизи „Основе селекције биљака“ каже да је термин оплећењивање биљака књишки скован и у то време предвиђа да се неће одржати. Непун век касније испоставило се да није био по том питању у праву, али је оставио прегршт ствари у својој продукцији о којима и данас размишљамо и које користимо као узоре.

Људи су одавно почели да припитомљавају животиње и да гаје биљке. Престанком сталне миграције људи и преласком са номадског начина живљења на стациониран долази до развоја земљорадње и сазнања да је нешто плодова или семена потребно оставити и за следећу годину, односно за сетву. Тада човек почиње да одабира биљке које су доносиле више рода или чији су плодови били укуснији. Рад на одабиру биљака се није десио брзо и прошло је много векова док је овај процес прешао из несвесног у свесни и унапред организовани посао. Природно је да су људи на почетку обављали овај посао насумице и овај вид селекције је Дарвин окарактерисао као несвесно одабирање. У ком моменту је дошло до освешћивања људи да ће се одабиром бољих биљака и произвести боље биљке,

тачно није познато, али ова чињеница је поткована и извесним историјским подацима. На асирским рељефима може се видети како крилати геније држи у руци мушку цваст палме и опрашује женску цваст. Из тога може да се изведе закључак да је ученим људима тог времена, пре око 4000 година, било познато да биљке имају различите полове и да су познавали појам хибридизације, укрштања и многих других учења које данас чине оплећењивање биљака.

Иако су јасна научна учења из прошлог века, да селекција биљака подразумева не само одабир, већ и варирање, наслеђивање и остале радње и потребне операције, устаљено је и из данашњег угла тачно мишљење да је оплећењивање биљака много шири појам од селекције биљака. Селекција биљака представља одабир биљака које ће чинити родитељску компоненту и одабир жељених биљака које ће бити коришћени за семе у следећој генерацији. Честе су грешке теоретичара где говоре да се у оплећењивању одабирају најбоље биљке. У овом уџбенику студент ће имати прилике да упозна оплећењивање биљака на различите особине биљке, те стога не одабирамо најбоље биљке, већ жељене биљке за које мислимо и сматрамо да поседују особине на које желимо да радимо оплећењивање. По Боћанском, професору Пољопривредног факултета у Новом Саду, најконцизнија дефиниција оплећењивања биљака гласи да је то **наука која се бави побољшањем наследних основа биљака**.

У литератури старих Грка и Римљана постоје писани записи како треба извршити остављање семена и одабир семена за следећу сетву. Произвођачи у старом Риму су знали да ће једна локална популација било код стрног жита пропасти уколико је оставимо без неге и уколико сваке године не одабирамо семе са жељених биљака. Записано је и да без овакве врсте селекције биљна врста изумире и приближава се својим дивљим сродницима.



Слика 1. Одабир плодова, АД мозаик, пореклом из трећег века нове ере. Чувана у Бардо музеју, Тунис.
Извор: [Пинтерест](#), 2023.

Запажања ове врсте су заиста изузетна и представљају својеврстан подвиг, посматрано са данашње тачке гледишта. Иако ми тежимо очувањима генетичких колекција, не бисмо ли сачували и гене који утичу на испољавање жељених особина, питање је да ли би степен оплећењених сорти и хибрида био на овом нивоу, да није било оваквих истраживања, проматрања и на крају оног што је највредније - записа. Следећи пасус у потпуности преносим како га је професор Зоњић написао још 1951. године, који каже да: *„номадска племена у Казахстану и многа друга племена у Азији традиционалним масовним одабирањем произвела су сорте пшенице отпорне против осипања. Пре њиховог одласка са једног места на друго они су сејали пшеницу, а затим су одлазили у пролеће на испашу са својим стадима и враћали се касно у јесен. Пшеница је већ била презрела и просула се већим делом изузев оних класова који су по својим наследним особинама били отпорни против осипања. Ово се догађало више пута у току дужег времена користећи природно одабирање, јер ту човек није ништа допринео да се неки класови не осну, него их је искористио као резултат природног одабирања за идућу сетву. Тако су настале код номада сорте пшенице отпорне на осипање“.*

Данас се у свету води комерцијална трка око тржишта кукуруза и оно за шта се компаније утркују је заправо „market share“ који заузимају, односно који проценат тржишта (светског, европског или националног) они снабдевају семеном кукуруза. У XXI

нико више не сеје сорте кукуруза, већ само хибриде и због тога је семе неопходно куповати од компанија сваке године. Међутим, док није дошло до стварања хибрида кукуруза и у Србији су се сејале сорте кукуруза и у нашем народу је било устаљено одабирање клипова кукуруза за семе, при чему су се остављали најбољи клипови потпуно испуњени зрнима на врху клипа. Деценијама су код нас произвођачи по овом принципу функционисали док нису тржиште преплавили хибриди. Такође, је ситуација била врло слична и код кромпира, где су одабирале здраве кртоле најједначенијих биљака, док су се болесне биљке увек одбацивале, јер је сматрано да имају лошу отпорност на болести или нападе штеточина.

У данашње време, трећој декади XXI века, циљ оплемењивања биљака се битно разликује од почетних циљева оплемењивања биљака када је планско оплемењивање почело, педесетих година XX века. Међутим, томе је претходило много векова припреме и одабира плодова, које су допринеле јаким темељима на којима је ова наука заснована. Оплемењивачи биљака су са правом названи и најбољим агрономима, јер једини познају толико биљних врста и морају да изучавају низ дисциплина попут ботанике, генетике, агрономије, статистике односно биометрике, физиологије биљака, фитопатологије, ентомологије, биохемије и мноштва других дисциплина на којима почива оплемењивање биљака. У природним наукама је обрада експерименталних података од неизмерног значаја. Након што завршимо са добро осмишљеним и спроведеним огледом, неопходно је извршити бројна мерења. По завршетку свих мерења приступа се обради података. Наука која се бави обрадом података и њиховом манипулацијом је статистика, а иста примењена у биолошким наукама је биометрика. Њена сврха је велика, јер другачије не бисмо могли да правилно изложимо резултате експерименталног огледа, који су нам неопходни за оплемењивање биљака. Тек резултати који су правилно обрађени могу даље да се проследе пољопривредној пракси и да се из њих изводе закључци. У биометрици се обично почиње од закона великих бројева, односно Гаусовог закона. Немачки научник Гаус је установио да код великог броја мерења увек дође до појаве одређене грешке и да се бројчана вредност неке особине може најбоље да одреди преко аритметичке средине. У агрономији овај закључак примењујемо да би смо након успешно обављеног огледа и његове математичке анализе, могли произвођачу да препоручимо одређену сорту, врсту агротехничке мере или нешто слично. Употребљиви закључци у биометрици се могу

добити уколико имамо довољан број узорака који произилазе из добро осмишљеног и спроведеног огледа. Важно је познавати биљну врсту на којој радимо, особину коју испитујемо и пре свега варијабилност унутар особине. Наиме, варирање унутар неке особине може да буде вишеузрочно. Варирање зависи од генетичког фактора сорте или хибрида које испитујемо, од утицаја спољашње средине, од њихове међусобне интеракције и од агрономски необјашњиве варијације, погрешке (која би требало да буде у што мањој мери). Због свега наведеног је неопходно имати већи број понављања у огледу што особина више варира. Осим вегетативних клонова, у свету биљака не могу да се нађу две потпуно једнаке индивидуе. Међутим, уколико је генетска чистоћа велика унутар једне популације, сва варирања ће да буду смањена. Поређење истих особина унутар исте врсте је пожељно, зарад квантификовања напретка у оплећењивачким процесима, међутим неосновано је поредити испољавање једне особине између биљних врста. О свему овом се у селекцији размишља пре постављања огледа и управо због тога се враћамо на чињеницу да је математичка обрада података представља секундарну манипулацију резултата из пољопривреде, која увек може да се изведе, али може да буде сврси корисна само ако су сви предуслови испуњени.

Одлуком Министарства пољопривреде Краљевине Југославије 1938. године је у Новом Саду основана *Пољопривредна огледна и контролна станица* која је касније прерасла у једну од запажених компанија и института чије је присуство на тржишту обележило двадесети век. Оплећењивање биљака у Србији највећу захвалност дугује домаћим оплећењивачким центрима који су доминирали током прошлог века, смештеним у Новом Саду, Земун Пољу, Крушевцу, Алексинцу, Крагујевцу, Зајечару и другима. Неки од оплећењивача биљака који чине нашу историју су путовали по свету после другог светског рата и доносили дивергентан материјал из Сједињених Америчких Држава, Кине, разних делова Анда и из свих делова Азије који је укрштан са нашим аутохтоним материјалом и створили су базу и почетни материјал за већину биљних врста у Србији. У данашње време наше тржиште је преплављено страним сортама и хибридима, али треба истаћи да су и бројне међународне компаније које су у нашој земљи отвориле истраживачке центре и покренуле оплећењивачке програме, што свакако треба поштовати, јер су тиме ангажовале и интелигенцију нашег народа.

Браун и сарадници у својој књизи савремене оплећењиваче дели у две категорије 1) оне који су запослени у јавном сектору, финансираном од стране националне владе и на 2) запослене у приватном сектору, компанијама које учествују у комерцијалној трци. Данас ове две врсте оплећењивача имају апсолутно другачије приступе у оплећењивању биљака, јер пре свега основну разлику чини време за које је потребно доћи до крајњег производа, односно генотипа на тржишту. Оплећењивачи који су ангажовани у јавном сектору уз рад у науци имају и низ дужности које обухватају академске активности и опстанак њихових институција не зависи од удела компаније на тржишту, док је другима све везано само за исти. Оплећењивачи ангажовани у приватном сектору имају само један циљ, а то је да сву своју енергију утросе на што брже стварање новог генотипа који може да донесе профит. Природно је и то да су оплећењивачи биљака из приватног сектора много више окренути стварању и имплементацији нових метода оплећењивања у сам процес, не би ли им исте скратиле поступак, односно неколико генерација у производњи нових варијетета.

1.2. Допринос модерног оплећењивања биљака

Иако ће се у подпоглављу геоцентри порекла детаљно анализовати порекло и прапостојбина биљних врста није згорег напоменути да биљне врсте нису одувек изгледале овако како данас изгледају. Код многих биљних врста је дошло до промена у броју хромозома, али и до промена у архитектури биљке природним и вештачким путем. Генетичку структуру коју има данас, пшеница дугује природним процесима старим преко 300000 година, који су довели до повећања нивоа плоидности. Данашња хлебна пшеница, као хексаплоидна врста има сложену генетичку структуру састављену од три групе морфолошки сличних хромозома, односно три генома (А, В и D). Сваки од ових генома има по седам парова хомологних хромозома ($2n=14=7''$). Донор генома А је врста *Triticum urartu*, која се у природи спонтано укрштала са врстом *Aegilops speltoides*, донором генома В. Претпоставка је да је спонтаном хибридизацијом тетраплоидних пшеничних врста (геноми А и В, број хромозома $2n=28=14''$) и дивљег сродника пшенице *Aegilops tauschii* (донором генома D), дошло до стварања хексаплоидних врста са геномима А, В и D и

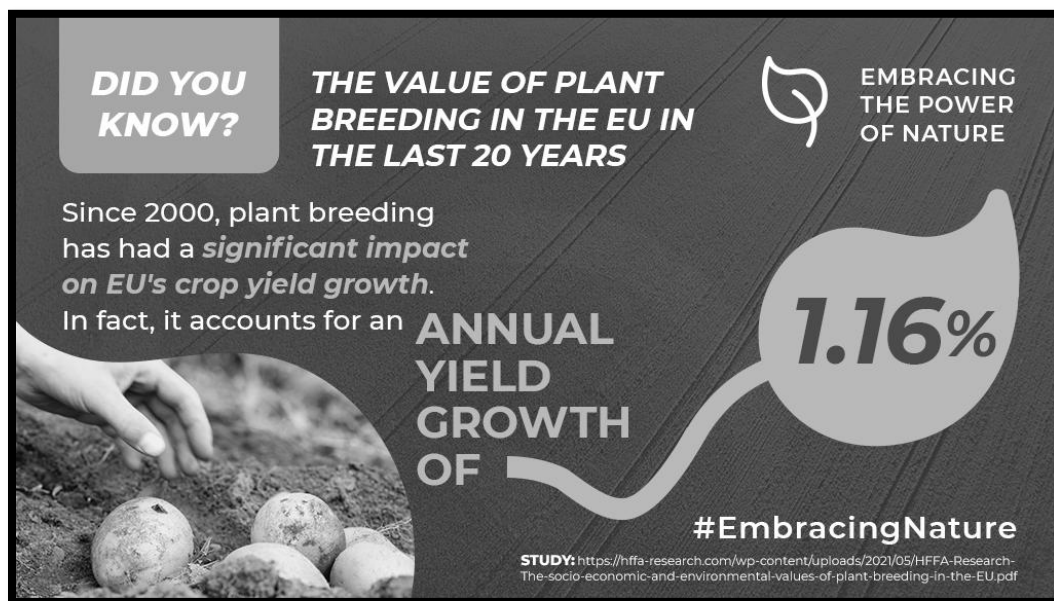
увећаним бројем хромозома на $2n=42=21$ ". Хексаплоидна пшеница испољила је супериорне карактеристике у односу на све претходне врсте и као таква је постигла високу популарност у гајењу широм света. Даљом интродукцијом пшенице од стране човека у различите агроеколошке услове, доказано је да је могуће гајити у широком ареалу. Хармонични еквилибријум који је створен настанком хексаплоида условио је адаптабилност те врсте, а човек је опелемењивањем довео до тога да ову културу одликују и стабилни приноси. Истина је да није било ових процеса у биљци пшенице и многим другим биљкама да оне нити би изгледале како данас изгледају, нити би биле толико приносне као што јесу, иако се данас у неким америчким програмима (Небраска) ради и вештачко стварање хексаплоида, зарад постизања нове варијабилности. Познато је да је већина биљних врста била знатно виша него данас и да је континуираним радом дошло до смањивања висине стабљике, све са циљем да се смањи полегање и омогући механизована жетва која би унапредила пољопривредну производњу. У првој половини двадесетог века основи опелемењивања биљака постајали су јасни. Дарвинове идеје о преживљавању и адаптацији најистрајнијих генотипова, заједно са Менделовом генетичком базом о наслеђивању карактеристика и особина биљке биле су темељ за даљи развој. Ове две теорије, комбиноване са резултатима Вајсмана о значају и очувању гермплазме, анализи Јохансена о теорији чистих линија и проширивањем Менделових закона од стране Батесона дају основ модерној селекцији каква је данас.



Слика 2. *Triticum monosocum*. Лево одомаћен и гајен, десно дивљи једнозрнац.
Извор: [Кавст](#), 2022.

Потреба за унапређењем биљних врста није дошла само из научних порива, већ велик утицај има и раст светске популације, као и све присутнији и осетнији проблем светске глади. Током прошлог века дошло је до незапамћеног пораста становништва на нашој планети. Светска популација је достигла цифру од једне милијарде 1804. године и након тога је било потребно 118 година да би се та цифра удвостручила. Међутим, након другог Светског рата само једна генерација људи сведочила је удвостручивању светске популације са три на шест милијарди. Предвиђања кажу да ће 2050. године укупан број становника Земље прећи 9 милијарди људи. Сасвим је природно очекивање да тај број људи буде праћен и већом количином произведене хране, а то конвенционалним начинима није могуће испратити. Стога су била потребна и неопходна драстична улагања у осавремењивање техника оплећењавања биљака које могу да доведу до веће и брже продукције хране. У периоду од 1955. године до данас укупна производња стрних жита и

уљаних култура је удвостручена, док је производња поврћа порасла у истом периоду за 235%. Ови скокови и пораст нису резултат само оплећењивања биљака, већ и нових агротехничких мера, минералних ђубрива, прецизне пољопривреде и других аспеката агрономије. Европски научници Нолепа и Картсбург су у свом ремек делу у оквиру HFFA истраживања 2021. године дошли до резултата да је просечна стопа коју оплећењивање биљке допринесе у расту годишњег приноса од 1.16% (Слика 3). Новији правци у оплећењивању биљака донели су примену молекуларних маркера, где на нивоу ДНК може да се прати веза између молекуларних маркера и појединих особина генотипа. На овај начин оплећењивачу може да се олакша избор родитељских парова за нека будућа укрштања, праћење пожељних гена и издвајања из потомства добијених у процесима оплећењивања, као и селекција пожељне генетичке варијације из потомства укрштања. Молекуларни маркери, који се користе у свакодневном оплећењивању биљака примењују се у фазама од процене диверзитета одабраног материјала за укрштање, до идентификовања локуса одговорних за квантитативне особине (*Quantitative Trait Loci*, *QTL*). Данас се правци оплећењивања мењају у односу на прошли век и све већа пажња оплећењивачих програма посвећује се отпорности на болести и адаптацији особина које могу да буду од значаја у условима глобалне промене климе. Управо у одређивању локуса на којима су смештени гени који условљавају бројне особине, између осталог и отпорности на одређене болести и лежи применљивост и значај могуће примене молекуларних маркера, као и маркерима помогнуте селекције (*Marker Assisted Selection*). Она је заснована на потврђеној вези између маркера и гена од интереса и има за циљ да повећа ефикасност у укрштањима при стварању нових сорти.



Слика 3. Напредак у опелемењивању биљака је довео до годишњег пораста приноса појединих гајених биљака од 1.16%.

Извор: [ПГ](#), 2019.

Опелемењивање биљака је успело да премости проблеме светске популације у току двадесетог века, међутим овај век доноси и сазнања по ФАО организацији да ће у Африци број становника до 2050. године достићи 2.2 милијарде људи. Овај континент поред проблема великог броја људи има и проблем што је најизложенији климатским променама и глобалном загревању. Светски агрономски стручњаци се слажу да су генетичке модификације спасоносно решење за овај континент. Канада, САД, Аргентина, Аустралија, Кина и Мексико су првих 6 земаља које су почеле да гаје ГМО 1996. године. Од тада 10 најзаступљенијих биљних врста је произведено на милионима хектара и остварена добит се процењује на преко 120 милијарди долара. ГМО (*Genetically Modified Organism*) је сваки организам чији је генетички материјал измењен техникама генетичког инжењеринга. Рекомбинација гена и комбиновање ДНК које је извршено методом инжењеринга ни на који начин не може да се изведе природним путем. Међутим, треба истаћи да ГМ технике нису метод опелемењивања, већ конверзија организма из конвенционалног у ГМ организам. Исто тако, да није било људске интервенције, у

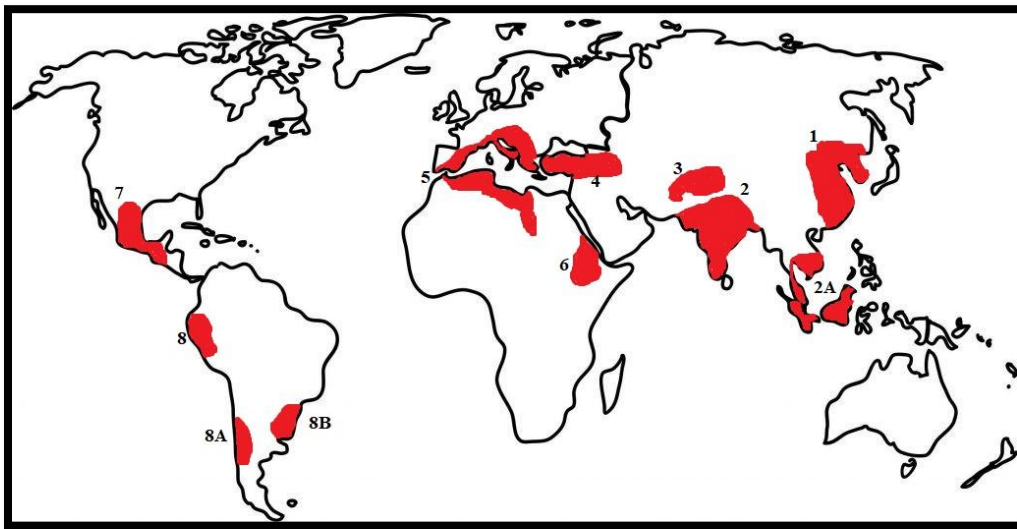
природи никада не би дошло стварања биљних врста у таквом облику каквом их данас познајемо, нити бисмо имали толики број сорти и хибрида широм света. Стварање генетички модификованог организма је сложен процес који се састоји од мноштва поступака и процедура, при чему је прва изолација гена који желимо да убацимо у биљку домаћина. Данас постоји прегршт техника којим је овај процес олакшан и врло једноставан. Но, са укључивањем ГМ техника у оплемењивање биљака дошло је и до стварања крајњих производа од ових сировина и у великом броју земаља на почетку је долазило до побуне и бриге да ли ће измена у генима биљака домаћина довести до стварања небезбедне хране за човечанство. Иако овакве тврдње нису имале научна упоришта, међу произвођачима здраве хране и људима окренутим природи овај став је наилазио на све више присталица. Најчешће генетички модификовани организми су: кукуруз, соја, уљана репица, кромпир, памук и парадајз. Европско законодавство захтева да сировине у чијем су саставу биљке модификоване на овај начин буде посебно означено. Постоје захтеви удружења потрошача да се ова област боље уреди и да се пропишу строжи услови код коришћења ГМО. Са друге стране проблем светске глади је пред вратима у 21. веку и гајењем мање количине квалитетније хране сигурно проблем неће бити решен. ГМ технике доводе до остваривања сигурности приноса ратарских усева, побољшања квалитета прехранбених производа (дуже трајање), побољшавање отпорности ратарских усева на болести и према штеточинама, на ниске температуре и сушу и генерално на бољу адаптабилност усева. На пољу здравствене заштите ГМ организми би могли да обезбеде јефтинију производњу лекова и вакцина, а заштита околине би била подигнута на виши ниво микробиолошким чишћењем загађених водотока. Данас се овим видом пољопривреде, гајећи ГМ организме бави преко 17 милиона пољопривредних произвођача. Већина њих је у развијеним земљама света. Укупно више од 60 земаља увози или гаји ГМ производе. Земље у којима је највиши промет ових производа су: САД, Бразил, Аргентина, Канада и Индија. Аргентина је крајем 2020. године одобрила чак и употребу НВ4 трансгене пшенице, компаније Биоцерес, која је отпорна на сушу и подноси хербицид натријум-глуфосинат. Климатске промене су неспорива кочница развоја светске пољопривреде и стога су у ЕУ и широм света формиране бројне иницијативе и мисије, не би ли се на било који начин ублажио утицај климатских промена на развој пољопривреде, не само кроз ГМ технологију. Пољопривредном факултету, Универзитета у Новом Саду је

2024-е године одобрено финансирање највећег пројекат из ЕУ мисије Клима, под називом Клима Панонија. Пројекат је из групе најпрестижнијих позива - Хоризонт Европа и у моменту добијања био је највећи у сваком погледу у Војводини. Задатак пројекта је да у четири најважнија сектора аграра (биљна производња, сточарство, уређење вода и агрошумарство) створи системска решења која ће бити понуђена произвођачима широм Европе, све са циљем да се ублаже климатске промене. Координатор пројекта је Пољопривредни факултет Нови Сад, а као партнери су ангажоване 24 европске институције из десет земаља.

1.3. Геоцентри порекла њивских биљака

Теорију о центрима порекла гајених биљака је утемељио руски научник и академик Николај Вавилов, вођен идејом да су географски центри порекла представљени као велике површине копна одвојене високим планинским венцима или широким пустињама. Као последица такве географске изолације живот се у тим подручјима одвијао засебно у односу на спољни живот и еволуцију. Теорија тврди да су из унутрашњости геоцентра биљке мигрирале према периферији и да је у средиштима центара забележен много виши полиморфизам и разноликост форми и врста. Међутим, како долази до мигрирања биљне врсте ка периферији, биљка бележи све мање различитих форми и преживљава само основна форма или најадаптабилнија. Повезујући ову теорију са каснијим дефиницијама адаптабилности јасна је логика постављене теорије и вероватно исправна. Вавилов истиче и то да у центру постоје форме доминантних особина, а да се према периферији јављају биљне форме рецесивних особина. Овакво учење није у сагласности са Дарвиновим које каже да се еволуција одвија свуда у центрима, а са тим су сагласни и многи други научници. Из тог разлога је и сам Вавилов модификовао своју теорију и центре поделио на примарне и секундарне, објашњавајући да богатство форми може да постоји и на периферији центра. Вавилов је своје учење утемељио на истраживањима и бројних експедицијама широм света, на којима је прикупљао разне форме биљних, гајених врста и груписао их у геоцентре порекла. Након прикупљених података бројни сарадници на челу

са академиком Вавиловим из данашњег Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (**ВИР**) су саставили теорију базирану на закону хомологих серија у варирању особина.



Слика 4. Геоцентри порекла најважнијих гајених биљака, по Николај Вавилову.
Извор: Ауторски цртеж, Младенов В, 2022.

Подела овог руског академика и његовог тима разликује осам геоцентра порекла при чему други и осми имају и секундарне, подцентре (Слика 3):

1. *Кинески центар* одакле порекло воде соја, сусам, просо, азуки пасуљ и разне текстилне биљке попут конопље које имају своју примену у пољопривреди.
2. *Индијски центар* одакле порекло воде пиринач, шећерна трска, разне форме пасуља и др.
 2А. Индијско малајски центар: банана, кокос и јам.
3. *Централно азијски центар* одакле порекло воде мека пшеница (хлебна), леблебија, јута, форме сусама, грашак, раж, лан, ланик, шафраника, сочиво и др.
4. *Блискоисточни центар* одакле порекло воде форме ражи, грашка и сусама, јечам, лубеница, луцерка и др.

5. *Медитерански центар* одакле порекло воде боб, купус, зелена салата, тврда пшеница (дурум), овас, хмељ и сл.
6. *Етиопљански (некадашњи абисински) центар*: бројне форме јечма, тврда пшеница, грашак, сусам, лан, сочиво, леблебија, кафа и др.
7. *Јужномексички и централноамерички центар* одакле порекло воде пасуљ, кукуруз, памук, бундеве, тикве и паприке.
8. *Јужноамерички центар* одакле порекло воде лима пасуљ, форме памука, кромпир, слатки кромпир-батат (данас врло распрострањен као пожељан извор угљених хидрата и у Србији), дуван и парадајз.
 - 8А. *Чилеански*: кромпир
 - 8В. *Бразилско-Парагвајски*: какао, кикирики, ананас, као и каучук или гума, еластомер који представља природну гуму.

Као што је већ речено Вавилов је тврдио да су центри диверзитета центри порекла биљака, међутим касније је током двадесетог века доказано да многе гајене биљке воде порекло са различитих страна света и да се не могу сврстати у један центар порекла. Међутим, важност ове научне теорије лежи у томе да се у центрима порекла и данас могу пронаћи дивљи сродници гајених биљака, а они представљају изворе гена које често немамо у новим сортама и хибридиме. У каснијим поглављима ће значај таквих гена бити наглашен, поготову да се као извор гена за толерантност према болестима често користе локалне популације. Природним миграцијама људи, еволуцијом човека и света дошло је до распрострањења набројаних гајених биљака свуда по свету. Незамислив је живот данашњег европљанина без кукуруза, пшенице, кромпира или кикирикија, јер ове гајене врсте представљају свакодневницу већини људи.

1.4. Утемељивачи оплећењивања биљака

Оплећењивање биљака не би било на пиједесталу моћи као научна дисциплина да није било плејаде научника који су дали свој допринос у развоју. Многи од њих нису били

агрономи, али је њихов допринос огроман и младе генерације треба да им буду захвалне. Почетак рада на оплећењавању биљака је везан за прву половину деветнаестог века, мада су многи истраживачи дали свој допринос и раније. Енглески цвећар Ферчајлд је још 1719. добио прво хибридно потомство каранфила. Рудолф Камараријус, професор са Универзитета у Тубингену (Немачка) је отприлике у истом периоду спровео истраживања о одвојености полова и женским и мушким репродуктивним органима на биљкама. Колројтер и Гартнер су укрстили око 700 разних врста и добили мноштво хибрида. Луј де Вилморин је био француски семенар, који је поставио претече законима наслеђивања, спроводећи истраживања на шећерној репи.



Слика 5. Хенри Вилморин (1843-1899)
Извор: [РГ](#), 2021.

По њему је названа и компанија Вилморин, која је четврта највећа семенарска кућа у свету данас. Томас Најт, британски ботаничар је први истражио и објавио појам геотропизма и тиме заузео значајну улогу у каснијим научним записима. Такође је 1973. године укрстио бројне сорте воћа, јагода, кромпира и грашка. Једно од најпрепознатљивијих имена генерално у биологији је свакако Чарлс Дарвин, који је живео

у периоду 1809-1882. године. Био је британски научник, који је утемељио теорију еволуције и написао капитално дело „О пореклу врста“. Грегор Мендел је рођен 1822. године, био је аустријски монах који је поставио темеље данашњој генетици својим истраживањима на грашку, које је касније укалупио у законе наслеђивања. Са правом га људи називају оцем модерне генетике, с обзиром да је дао и значајан допринос не само у развоју чистих линија, већ и у првим статистичким анализама које је користио. Међутим, иако је своје дело Мендел објавио у часопису Ботаничарског друштва у Брну, резултати су пали у заборав. Све док се 35 година касније истраживачи Хуго де Фриз, Коренс и Чермак, независно један од другог нису сложили да су добили исте резултате као и раније Мендел. Око 1900-е године менделизам као покрет се буди у свим земљама света, осим Русије, где се учења у то време темеље на основама дарвинизма, али под палицом академика Лисенка. Његови ученици Тимирјазев, Мичурин, али и Бурбанк у САД-у континуирано раде на селекцији различитих култура. Средином 19-ог века шкотски селекционер Ширеф је одабрао из једне сорте пшенице биљке које су се разликовале од других по свом изгледу, за које се претпостављало касније да су биле мутације. Класове ових биљака је држао засебно и добио је нови генотип пшенице који је касније умножавао током година. Оплећењивање биљака као предмет почиње да се предаје на Пољопривредном факултету у Гетингему (Немачка) 1889. године, где је професор Римкер први предавач и 1899. године на високој пољопривредној школи у Бечу. Од тада до данас не постоји пољопривредна школа или факултет где се оплећењивање биљака не предаје и представља једну од најцењенијих и најисплативијих наука у агрономији.

У каснијем периоду долази до развоја селекције и оплећењивања као јаких научних дисциплина, где свој траг остављају научници попут: Дувика – који открива цитоплазматску мушку стерилност, Вавилова – који утемељује геоцентре порекла гајених биљака, Сирса и Рикса који изучавају цитогенетику, Мулера – научника који је први почео да истражује индуковане мутације икс зрацима, Јохансена – научника који је дефинисао метод селекције *single plant selection*, као и разлике између генотипа и фенотипа, Хардија и Вајнберга који су утврдили законе велике популације, Харлана и Попа – утемељиваче повратних укрштања, Хула који се бавио рекурентном селекцијом, Шула који је сковао термин хетерозис, Фишера – који је разрадио анализу варијансе, Вотсона и Крика који су сва та знања повезали у двоструки хеликс и направили први модел ДНК, да би то на крају

било крунисано Нобеловом наградом, најцењенијим признањем у науци. Средином 40-их година прошлог века као програм је постављена „Зелена револуција“ предвођена нобеловцем Норманом Борлагом. Она је представљала читав низ мера које су довеле до пораста продуктивности усева, као и стварања високоприносних сорти пшенице. Борлаг је уз Назарено Стрампелија, који је отпочео сличан програм тридесет година раније, заслужан за увођење гена редуктора висине (*Reduced Height-Rht*) у сорте пшенице. То је довело до значајног скраћења стабљике, самим тим и могућност додатне хемизације, пре свега прихраном и већим количинама азота, али и побољшан однос вегетативног и генеративног дела биљке. Укупан резултат је побољшана транслокација асимилатива у клас и повећање приноса пшенице. Након Борлага су многи научници радили и раде и данас на стварању нових сорти и хибрида широм света. Темеље генетичке манипулације су поставили Бојер, Кохан и Берг, а даље их разрађују сви оплемењивачи запослени у јавном и приватном сектору планете Земље.

2. ГЕНЕТИЧКА БАЗА ОПЛЕМЕЊИВАЊА БИЉАКА

2.1. Наследни материјал и закон хомологних редова

Хромозоми су кончасте органеле једра чији број и величина је карактеристика свих врста. Они се састоје од спирализованих ланаца дезоксирибонуклеинске киселине (ДНК) и протеина типа хистони и протамини. Када је експериментално доказано да је ДНК носилац наследних информација, проучавање ове и других нуклеинских киселина је постало значајно за разумевање процеса преноса наследних информација са родитеља на потомке, односно наслеђивање. ДНК је изграђена од два комплементарна полинуклеотидна ланца, супротног смера, који су двоструко спирално увијени око своје осе и замишљене унутрашње осе. Основна јединица грађе ДНК је нуклеотид, који се састоји од:

1. шећера пентозе у фураниодном облику (дезоксирибоза)
2. два типа азотних база:
 - а) пуринске: аденин и гуанин, које имају структуру двоструког прстена
 - б) пиримидинске: тимин и цитозин, које имају структуру једноструког прстена
3. фосфорне киселине.

Пуринске базе ДНК, аденин и гуанин; и пиримидинске-тимин и цитозин су гликозидним везама везане за шећер дезоксирибозу, а шећер естарским везама за фосфорну киселину. Базе се везују наспрамно, по принципу комплементарности, тимин са аденином, гуанин са цитозином, водоничним везама, стварајући тако двоструке ДНК ланце. При чему се, између пара азотних база аденин-тимин, успоставља двострука

водонична веза, док се базни пар гуанин-цитозин повезује троструком водоничном везом. Овај модел грађе ДНК су дефинисали Ватсон и Крик 1953. године.

С обзиром да ДНК може да репликује саму себе, да се према њеном обрасцу одвија процес преноса генетичке информације са генерације на генерацију и да су те информације у стабилном облику, али и да могу да се мењају, она је основни генетички материјал свих еукариотских организама. У складу са тим, важно је да се зна на који начин се одвијају ови процеси. Репликација ДНК подразумева да од једног двоструког ДНК ланца настану два нова истоветна ланца ДНК. Овај ензимски регулисан процес се дешава током синтетичког периода интерфазе (дела ћелијског циклуса, који протиче између две узастопне деобе једра и цитоплазме). Репликацијом ДНК ланца се умножава генетички материјал и удвајају сестринске хроматиде (уздужне јединице) хромозома. Овај процес почиње радом ензима хеликаза, који прекида водоничне везе између комплементарно постављених азотних база двоструког ДНК ланца. Након тога, радом ензима полимераза, сваки полинуклеотидни ланац синтетише себи нови комплементаран ланац. На тај начин новонастали ланци ДНК имају по један стари ланац (матичне ДНК) и један новосинтетисани комплементарни ланац. Из тог разлога, овај начин репликације (саморепродукције) ДНК се назива семиконзервативни. Осим ДНК, нуклеинске киселине су и оне у чију грађу уместо пентозног шећера дезоксирибоза, улази рибоза у фураноидном облику, па се називају рибонуклеинске киселине. Осим ове разлике у поређењу са ДНК, рибонуклеинске киселине (РНК) су углавном једноструки ланци, док је азотна, пиримидинска, база тимин, замењена азотном базом урацил. Ових нуклеинских киселина има неколико врста, од којих су за разумевање процеса рада гена, најважније:

1. хетерогена РНК-настаје по обрасцу ДНК, налази се у једру и служи као прекурсор за синтезу информационе РНК,
2. информациона РНК-настаје транскрипцијом, тј. преписивањем сегмента ДНК, са ког носи информацију до рибозома, органела у којима се одвија процес синтезе протеина,
3. рибозомална РНК-спаја већу и мању подјединицу рибозома у комплекс за синтезу протеина и

4. транспортна РНК-приводи аминокиселине из периферних делова цитоплазме до рибозома, те на тај начин учествује у процесу транслације (повезивање аминокиселина у полипептидни ланац).

Ген је функционална јединица наследности особина и у хемијском смислу представља одређен редослед нуклеотида молекула ДНК или РНК (код неких вируса). Величина гена се изражава у броју нуклеотида ланца нуклеинске киселине и најчешће се креће од 500 до 1500 нуклеотида. Према улози коју обавља, ген може да буде:

1. структурни-представља део ДНК који процесима транскрипције и транслације одређује редослед аминокиселина у протеину и

2. регулаторни

- у ширем значењу: сваки ген, који регулише рад других гена

- у ужем значењу: ген, који кодује редослед аминокиселина у протеину репресору (протеин, који је одговоран за почетак процеса транскрипције).

Транскрипција и транслација су фазе синтезе протеина, у којима деловањем гена настају протеини тј. у најширем смислу особине, које се са родитеља преносе на потомство. Ови процеси укључују неколико фаза, које се одвијају следећим редоследом:

1. матични ланац ДНК синтетише и РНК (процес транскрипције)

2. информациона РНК кроз поре на једровој мембрани одлази у цитоплазму и са својим триплетима база (кодонима) се веже за мању подјединицу рибозома

3. кодони, по принципу комплементарности азотних база, позивају антикодоне (триплете база транспортне РНК), са по једном аминокиселином везаном у вршном делу триплета, у већу подјединицу рибозома

4. образовање пептидних веза између аминокиселина и стварање протеина (процес транслације).

Завршна фаза процеса синтезе протеина (транслација) је сложен процес, који се дели на четири сукцесивне фазе:

1. активација аминокиселина и њихово довођење до рибозома
2. иницијација тј. стварање дипептида (две аминокиселине повезане пептидном везом)
3. елонгација тј. раст полипептидног ланца и
4. терминација тј. крај процеса повезивања аминокиселина и ослобађање направљеног протеина.

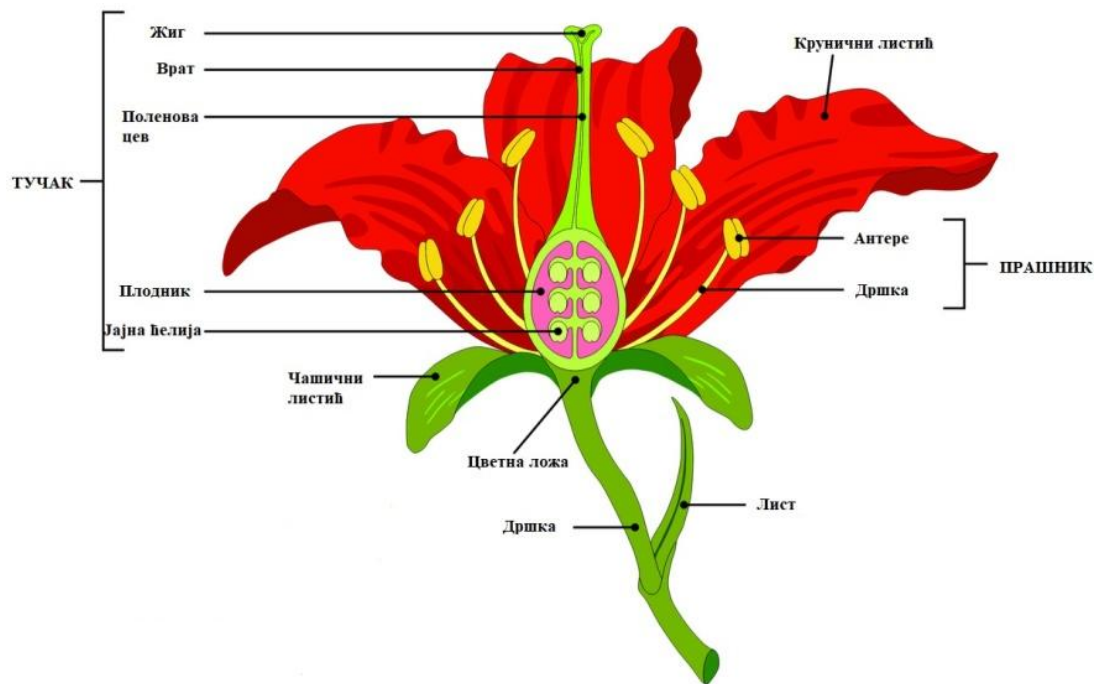
Описани процеси представљају суштину рада гена код виших организама и значајно су сложенији него што су овде приказани. Између описаних, одвијају се софистикованији процеси под контролом великог броја ензима и других протеина, те се детаљније проучавају у Генетици и Молекуларној биологији под термином „Генски регулаторни механизми“. За разумевање процеса у оплећењавању биљака, је важно да се зна да гени имају различите облике, који се називају алели и да од начина на који испољавају свој ефекат могу да буду доминантни или рецесивни тј. да имају јачи, односно слабији ефекат. Осим тога, постоје особине које се наслеђују генима који имају више од два облика који заузимају исте локусе на хомологним хромозомима, па се називају мултипли алели. Некада гени могу да буду једнаке јачине и том случају се називају кодоминантни. Постоје и епистатични и хипостатични гени, минор и мајор гени, комплементарни и суплементарни гени... Као што се види из наведених примера, да би се објаснили неки од ових појмова, потребно је претходно објашњење неких других појмова и односа између гена, што је предмет проучавања различитих генетичких дисциплина.

Закон хомологних редова или серија је представљен од стране Вавилова на светском конгресу 1920. године и каже да сродне врсте, родови и породице варирају на сличан или исти начин. Што су две биљне врсте ближе и сличније, то ће и њихово варирање бити блискије у морфолошком, генетичком и физиолошком смислу. Вавилов је тврдио да ово учење произилази из учења о еволуцији и аналогној променљивости. Покушао је цело ово учење да уобличи у два закона, при чему први дефинише да се генетички најближе врсте одликују једнаким редовима наследне променљивости у оквиру врсте. Други закон Вавилова проистиче из првог, али не ограничава се само да је варирање приметно код генетички сличних врста, већ да и родови испољавају сличност у низу наследних промена.

Вавилов је у свом излагању изнео и пример две врсте пшенице, тврде и меке које потичу из различитих геоцентра порекла, а опет представљају генетички сличне врсте, иако су засебне. Обе врсте имају сорте које поседују осје и оне које га не поседују, имају три прашника у цвету, боја плевица варира и у неколико боја итд. Основ овог закона или боље рећи логичности за оплећењивача лежи у томе да што знамо шта треба да тражимо у почетном материјалу. Форме које пронађемо код једне врсте треба тражити и код друге врсте, јер према овој аналогiji она мора да постоји. Након ових поставки откривене су бројне форме које до тада нису биле познате, као на пример сорте соје без длачица, иако су до тада биле гајене сорте соје само са длачицама и многе друге.

2.2. Размножавање и начини оплодње биљака

Репродукција или размножавање је једини облик сталног одржавања организама и врсте у времену и простору. Постоји две основне врсте размножавања: полна и бесполна. За нормално **полно** размножавање морају да постоје мушки и женски делови цвета или цветови. Цвет је сложен орган биљке на ком су смештени репродуктивни органи. Постоје четири дела цвета: чашица, круница, прашници и тучак. Прва два дела цвета немају директну важност за репродукцију биљака, за разлику од прашника и тучка, који представљају мушке и женске полне органе биљке. Прашник се састоји из дршке и антере, док је тучак сачињен од плодника, врата (стубића) и жига.



Слика 6. Делови цвета

Извор: [Интернет](#), дорадио Младенов В, 2022.

Свакој оплодњи претходи опрашивање или полинација. Да би дошло до оплодње морају да буду испуњени следећи услови:

- виталност полена
- да се мушки и женски полни органи подударају и способни су за репродукцију.

Када поленово зрно падне на жиг тучка оно почиње да клија. Полен на основу физичко-хемијских процеса продире све дубље и формира се поленова цев. Зрело поленово зрно, које је мушки гамет биљака, у себи садржи два генеративна и једно вегетативно једро. Када поленово зрно падне на жиг тучка, на основу физичко-хемијских процеса, се издужује формирајући поленову цев. Цев пролази кроз стубић (врат) тучка и долази до ембрионалне кесе у плоднику. Након тога долази до двоструке оплодње виших биљака. У

том процесу једно генеративно једро полена оплоди женски гамет биљака (јајну ћелију) и настаје зигот. Друго генеративно једро из поленовог зрна оплоди секундарно једро из ембрионалне кесе. На тај начин се ствара ендосперм тј. хранљиво ткиво клице, које је уједно и складиште резервних материја. **Бесполно** размножавање је процес у ком организми стварају генетички сличне и фенотипске идентичне копије, без доприноса генетичког материјала другог родитеља, односно другог организма. Један вид бесполог размножавања је и апомиксис, при чему он може да буде и факултативан, не мора биљка обавезно на тај начин да се размножава. Код оплемењивања хортикултурних биљака има много већу важност, него код оплемењивања њивских биљака.

Ефекат оплемењивања, односно селекције зависи од система оплодње, при чему разликујемо два основна система оплодње:

- самооплодњу (аутогамија)
- странооплодњу (алогоамија)

Самооплодња је такав систем код кога долази до спајања мушких и женских гамета које припадају истој биљци. Овакав систем је осигуран постојањем двополних цветова, а опрашивање се врши властитом тежином полена. Проценат странооплодње код селекционисаних биљака је увек једноцифрен број, осим уколико неке биљке немају као сортну карактеристику отворено цветање. Гајене ратарске биљне врсте које су типични самооплодњаци су: пшеница, јечам, овас, пиринач, памук, пасуљ, соја, ланик, парадајз и многе друге.

Странооплодња је опрашивање и оплодња између различитих биљака. Жиг тучка једне биљке је опрашен поленом неке друге биљке. Странооплодњаци имају различите врсте цветова, одвојене на различитим биљкама или одвојене цветове, на истој биљци. Те стога разликујемо по Боројевићу (1981):

- 1) биљке са двополним цветовима: раж, хељда, сунцокрет, луцерка
- 2) биљке са двополним цветовима код којих је могућа и самооплодња: шећерна репа, купус, дукан, кромпир

- 3) једнодоме биљке (одвојени полни органи, али на истој биљци): кукуруз, лубеница, диња, орах
- 4) дводоме (диецијске) биљке (врсте где су мушки и женски пол раздвојени на посебним индивидуама): коприва, хмељ, топола, спанаћ, гинко и др.
- 5) страноопходне биљке које се размножавају вегетативним путем: винова лоза, јагода, кромпир.

Постоји две основна начина преношења полена: абиотички и биотички. Абиотички начини полинације су: путем ветра (анемофилија), воде (хидрофилија) и путем сопствене тежине. Биотички начини полинације су путем: инсеката (ентомофилија), пужева (малакофилија), птица (орнитофилија) и шишмиша (хироптерофилија). Све наведене самоопходне биљке опрашују се путем сопствене тежине полена. Класичан пример опходне путем ветра је кукуруз, путем инсеката сунцокрет, путем шишмиша банане и др.

2.3. Сорте и хибрид

У овом поглављу уџбеника ће се студентима детаљније објаснити термини који ће се касније сусретати кроз цело штиво, попут сорте, линије, хибрида, генотипа, локалне популације и сл. Битно је напоменути да ће студенту за потпуно разумевање овог поглавља ипак бити неопходна многа касније поглавља, те би најбоље било да се при учењу студент упозна са овим терминима, а касније врати не би ли их боље истумачио. **Генотип** је генетичка конституција, односно алогенски састав наследног материјала у једном живом систему. Он представља хромозомску гарнитуру једне индивидуе, која укључује све гене који се у њој налазе. Термин генотип у оплећењавању биљака се најчешће користи као свеобухватан термин или замена за термин сорта, хибрид или линија. Неопходно је дефинисати разлику између линије и чисте линије. Да би одређени оплећењивачки материјал био препознат и признат од стране Министарства пољопривреде, водопривреде и шумарства, Републике Србије он мора да испуни одређене захтеве које прописује

ресорно министарство, о којима ће касније бити речи. Министарство доноси одлуку о признавању сорте или хибрида, али до момента признавања сваки самооплодни материјал представља линију. Дакле, **линија** је новостворени оплемењивачки материјал, који поседује својствену генетичку структуру и као таква служи за даља укрштања јер поседује гене од интереса. Након укрштања два генотипа се добија нова линија, која је у том моменту састављена од подједнаке количине генетичког материјала два родитеља. Међутим, таква линија није од користи оплемењивачу и због тога је неопходно да је доведемо у хомозиготно стање. Генотипови који садрже једнаке алогене (*AA*, *aa*) означени су као хомозиготи, односно линију је потребно униформисати и кроз 7-8 генерација превести у хомозиготно стање, не би ли спречили цепање генотипа на родитељске компоненте, што се дешава уколико се она пребрзо пусти у производњу. Дански научник Јохансен је почетком двадесетог века дошао до важних сазнања и утемељио **теорију чистих линија**. Чиста линија представља потомство једне самоопложне биљке, доведене у хомозиготно или приближно хомозиготно стање. Његова полазна истраживања су показала да постоји варијабилност између различитих биљака пасуља исте сорте. Желећи да утврди степен варијабилности и да направи генетичку униформност једне сорте пасуља применио је метод индивидуалне селекције. Детерминисао је мноштво различитих линија и током генерација на свакој применио индивидуалну селекцију, при чему је сав материјал постепено преводио из хетерозиготног стања у хомозиготно тако што је у свакој генерацији одстрањивао атипичне биљке за ту линију, а за семе следеће године остављао само биљке које су у потпуности биле у складу са задатим фенотипом и циљем оплемењивања. Након формирања чистих линија је покушао да унутар чисте линија одваја семе по величини и да то семе сеје у одвојене редове. Но, сваке године је добијао биљке које имају семе различите величине и тиме је дошао да важног закључка, а то је да селекција унутар чисте (хомозиготне) линије нема ефекта. Уколико посматрамо странооплодни материјал, ситуација је значајно другачија пре свега јер код самоопложног материјала је предуслов сорте да буде чиста линија. Међутим, код староопложних биљака је неопходно најпре формирати **инбред линију**. Инбред линија је популација идентичних или готово идентичних (хомозиготних) биљака створених процесом самоопложне кроз минимално шест генерација. Детаљније ће о стварању инбред линија бити речи у поглављу метода селекције код староопложних биљака.

Наредни термин који ће бити коришћен кроз уџбеник, а неопходно је да га студент упозна је **локална популација**. Она представља тзв. домаћу сорту или аутохтони генетички материјал, који је нађен у природи и није створен под контролом оплећењивача или неког другог лица. Значај локалних популација је немерљив јер су оне често извори гена који су се конвенционалним начином оплећењивања изгубили. Услед појачаних напада патогена и болести усмеравање селекцијских процеса ка изворима гена из локалних популација је врло често. С обзиром да оне нису стваране у унапред организованим програмима, природно је да њихова хомозиготност није на завидном проценту, али свакако могу да послуже као извор гена од интереса. Када одређена линија буде призната од стране комисије за признавања сорти и хибрида надлежног министарства се издаје документ којим се потврђује да је она прошла све неопходне пољске и лабораторијске тестове и да је уписана у регистар сорти Републике Србије. **Сорта** представља репродуктивни материјал који је генетички уједначен. Свака биљка једне сорте је доведена до хомозиготног стања и као таква све биљке поникле из таквог семена су фенотипски једнаке. Сорта је прилагођена одређеном климату и често остварује најбоље резултате у агроеколошким условима у којима је стварана. Међутим, данас је свеprisутно гајење сорти створених у различитим ареалима широм Земље. Такву распрострањеност сорта дугује својој адаптабилности и могућности да се прилагоди разноликим условима спољашње средине. Браун и сарадници кажу да постоје различити типови сорте: сорте - чисте линије, хибриди, клонови, сорте које отворено цветају, синтетичке сорте и мултилинијске сорте. Јасно је да је чиста линија која прође законски пут једина права композиција која чини сорту. Међутим, тешко је замислити тако чисту линију код биљних врста као што је кромпир, који се углавном размножава вегетативним путем и има пуно рецесивних алела. Сорте које отворено цветају су хетерогене популације састављене од различитих биљака које генетички нису униформне. Те биљке су резултат непланских укрштања, у говору често познати као ауткросеви, односно странооплодне код самооплодних биљака. Ове популације се одабирају тако да пружају велику варијабилности у особинама, а опет са друге стране показују довољну стабилност код условљавања и експресије одређених особина неопходне за DUS тестове о којима ће у каснијим поглављима бити речи. Примери сорти које отворено цветају се јављају код лука, пиринча, нехибридног кукуруза шећерца, неких трава и палме. Хибриди, без обзира да ли

су једноструки или вишеструки имају различите нивое хомозиготности, односно хибриди су хетерозиготи. Једноструки хибрид F_1 не може да оствари потомство из тог семена због прогеније, односно у следећој генерацији ће доћи до раздвајања и до стварања неуниформне популације. Међутим, друге врсте хибрида (двоструки и троструки хибриди) се гаје и раздвајају такође, али је то могуће предвидети са великом сигурношћу. Од свих метода хибридизације, стварање хибрида је свакако најзахтевније. Тај процес има минимално два стадијума, при чему је неопходно одабрати или створити инбред линију, које се касније укрштају са тестерима не би ли се процениле њихове комбинационе способности. Када су родитељи одабрани онда се у другом стадијуму укрштају не би ли добило семе, односно хибрид. Ове родитељске линије је неопходно одржавати и стално користити за производњу F_1 семена. Клонови или клонске сорте су генетички униформни хетерозиготи, јер најчешће потичу од различитих матичних стабала. Уколико је реч о хомозиготима, онда сви клонови потичу од једног матичног стабла. Важно је напоменути да се униформност постиже због чињенице да је увек реч о бесполном размножавању и да је углавном реч о дрвенастим биљкама. Синтетичка сорта је дериват укрштања одређеног броја јасно одабраних родитеља. У принципу јавља се код луцерке и уљане репице и приближно је блиска F_1 генерацији хибрида, с тим што се не јавља код странооплодних биљака и не долази до формирања инбред линија у фази пре. Мултилинијске сорте су сорте које се састоје од десетак сорти или линија, фенотипски уједначених, које се разликују у генима које носе према толерантности на неки паразит. Многе мултилинијске сорте су резултат мешања изогених линија и међусобног стварања популација. Разлика између мултилинијске сорте синтетичке сорте лежи у томе што је синтетичкој циљ одржавање хетерозиготности међусобним укрштањем родитељских линија.

2.4. Фенотипизација

Фенотипски маркери представљају заједнички назив за квантитативне и квалитативне особине које помажу да се лакше опише одређена сорта или хибрид. Они не обухватају само морфолошке и анатомске карактеристике биљке, већ и облик, величину семена и

бројне друге особине које су дефинисане у УПОВ (*International Union for Protection of New Varieties of Plants*) дескрипторима. Фенотипско маркирање представља опис генотипова по алтернативним формама особина и оно представља основ оплећењевања биљака. Као што је већ речено то нису само особине које представљају висину биљке, дужину класа/клипа и сл., већ и боју плода, толерантност на одређене болести и друго. На међународном нивоу усаглашене су особине за одређене биљне културе помоћу којих се врши опис одређеног генотипа и упис нових генотипова у базу, уколико се у довољној мери разликују од претходно признатих. Све агрономске особине могу да се поделе у две групе: **квантитативне** и **квалитативне**. Обе врсте особина су од изузетног значаја за оплећењевање, у зависности пре свега од циља оплећењевања. При чему квантитативне особине представљају углавном мерљиве особине, док су квалитативне описне особине немерљиве. Међутим, није коректно у ери дигитализације рећи да нису мерљиве, јер данас постоје бројни софтвери за мерење интензитета боје и сл. Опис генотипова по овом моделу – фенотипизацијом је најстарији метод оцене генотипова. **Фенотипизација је скуп биолошких, агрономских, морфолошких, физичких и биохемијских особина једног организма (сорте, линије или хибрида), који нам ближе говоре о самој биљци, карактеристикама и њеном понашању.** Фенотипски маркери захтевају да се индивидуе гаје и прате од прве до последње фазе раста и развића и то захтева пуно времена, али и људског рада. Прве особине које се прате су број дана потребних до ницања, до момента жетве. Стога, кажемо да су фенотипски маркери распоређени дуж целог живота одређеног генотипа.

Кроз пољопривредну праксу је уобичајено мерење и квантификовање морфолошких особина од када је почео рад на оплећењевању биљака, међутим 2010. године на Берклију је скован термин *феномика*, који убухвата систематско проучавање генотипа. Феномика је интердисциплинарна област истраживања која укључује биологију, информатику и многе друге науке и дисциплине. Феномика подразумева сва мерења која се одвијају и стандардном фенотипизацијом, међутим скраћују поступак, усавршавају га и поткрепљују са великом количином слика високе резолуције. То отвара проблем складиштења података, који није нимало лако решити.



Слика 7. Алати у механизованој фенотипизацији (*high throughput phenotyping*)

Извор: [Phenospect](#), дорадио Младенов В, 2022.

Постоји мноштво техничких решења за добру и квалитетну фенотипизацију. Неки од њих су дронови разних врста, „биљна ока“ (PlantEye) и слична, при чему најновије серије могу да мере и интензитет фотосинтезе. Знања о овим технологијама су на европском нивоу сабрана унутар покрета EMPHASIS (*The European research infrastructure for plant phenotyping*).

3. ПОЧЕТНЕ КОМПОНЕНТЕ У ОПЛЕМЕЊИВАЊУ БИЉАКА

3. 1. Генетичка варијабилност

Током најранијих цивилизација, људи су из природе узимали биљне и животињске врсте и користили их у исхрани. Временом, бирањем најбољих индивидуа из популација и њиховим укрштањем могли су да добију нову биљку или животињу, која им је давала више него постојећа. Била је то инстинктивна селекција или како је Дарвин назвао спонтана. Цивилизацијски напредак, праћен и развојем науке, развио је људску потребу да се од биљака и животиња узима још више и још боље. Тако се дошло до тога да је циљ научника који се баве оплећењавањем биљака у пракси да на основу теоријских знања из ове и сличних области, правилним одабиром родитељских парова створе потомство, које ће да има бољу особину или особине у односу на родитеље или друге индивидуе у својој популацији. Овај циљ, пре развоја генетике као науке, која је дала одговоре на нека питања, која до тада нису била одговорена, могао је да се оствари бирањем биљака из локалних и популација познатих дивљих сродника одговарајућих врста. Менделово откриће о односима гена и хибридизацији тј. **рекомбинацијама** родитеља који се разликују у једном или више парова алела, отворило је нови извор генетичке варијабилности. Биљке се разликују на много начина, чак и уколико посматрамо само један генотип. Посматрајући семенску производњу или касније генерације оплећењавања, често ће нам се учинити да су оне у потпуности униформне. Међутим, уколико приступимо пажљивијој анализи доћи ћемо до закључка да понекад разлике ипак постоје. Оне могу бити проузроковане условима спољашње средине или неким наследним факторима. Рекомбинација гена представља развој два нова хомозиготна генотипа који садрже нову комбинацију гена, под условом да се родитељи тих јединки разликују само у два пара алелних гена која нису везана и мора да постоји пуна доминација једног на другим. Дакле, предуслов је да су родитељи врло слични, односно толико слични да се

разликују само у два пара алелних гена (алел представља различит облик једног истог гена) и мора да постоји пуна доминација једног родитеља (Табела 1).

Табела 1. Шематски приказ рекомбинације гена. Аутор Младенов В, 2022.

Родитељи	AAbb	x	aaBB
F1 генерација	AaBb		
F2 генерација	AAbb	први родитељ	
	aaBB	други родитељ	
	AABB	нови генотип	
	aabb	нови генотип	

Наравно овде је реч о блиским индивидуама, међутим уколико се родитељске компоненте разликују у више парова гена и више парова алела, створиће се већи број гамета и тиме до великог броја генотипова у F₂ генерацији. Осим рекомбинације родитељских гена са доминантним и рецесивним ефектом у генетичкој конституцији њихових потомака, када се гени налазе на различитим хромозомима, извор генетичке варијабилности су и укрштања родитеља за особине које се наслеђују генима на истом хромозому, посебно ако дође до реципрочне измене делова хроматида хомологих хромозома тј. *crossing over*-а, такође често коришћеног у конвенционалном оплећењевању као извор генетичке варијабилности. Морган је истакао да поремећај укупчавања (везивања) гена произилази услед размене хомологих делова хромозома између два хромозома у профазу прве редукционе деобе и назвао је ту појаву кросиновер. Сви гени који се налазе на једном хромозому су укупчани међусобно и само путем кросинговера се могу раставити. И зато када се проучавају два пара везаних гена од којих је један везан за један хромозом из пара хомологих, а други пар за други хромозом, они се увек наслеђују заједно тј. у блоку. То може да буде олакшавајућа околност уколико су ови гени одговорни за експресију циљаних особина неког оплећењивачког програма. Откриће **мутација**, као наследних промена генома, такође је допринело добијању особина које се до тада нису испољавале у популацијама или су биле присутне у малом броју случајева. Иако су

мутације значајан извор генетичке варијабилности, углавном су непредвидиве. С обзиром да су случајне тј. да могу настати спонтано у природи или индуковано када их човек изазива хемијским и физичким средствима (мутагенсима) или зрачењем, као и то да могу бити са негативним ефектом, мутације не би требало да буду главни ослонац оплећењивачу да ће помоћу њих остварити свој циљ, али ће о њима касније у овом поглављу бити речи.



Слика 8. Фенотипска варијабилност кукуруза, раздвајање у боји алеурона зрна (ксеније).

Извор: проф. др Рудолф Кастори

Оно на шта аутор уџбеника жели да скрене посебну пажњу јесте да је знање генетике до детаља апсолутно неопходно за посао оплећењивача и да ова публикација није замена за уџбеник из генетике. Међутим, оно што мора бити објашњено у овом поглављу је разлика између укупчаних (везаних) гена и плејотропног ефекта гена. Плејотропни ефекат гена или плеотропија је појава када један ген утиче на испољавање више особина. Активност једног гена за испољавање више особина је последица његовог дејства на функционисање и развој организма. Ове особине се преносе на потомство и ту појаву

треба разграничити од укупчаности гена (линкиџ), који се налазе на истом хромозому и који имају адитивно деловање. Природно је да се због ограниченог броја хромозома, а огромног броја особина у једном организму мора налазити више гена (за више особина) везано за један хромозом, односно да се понекад на једном хромозому налази више гена који регулишу поједине особине. Другим речима, на једном хромозому се налазе различита места (локуси) за поједине функције организма (QTL).

3.2. Почетни материјал

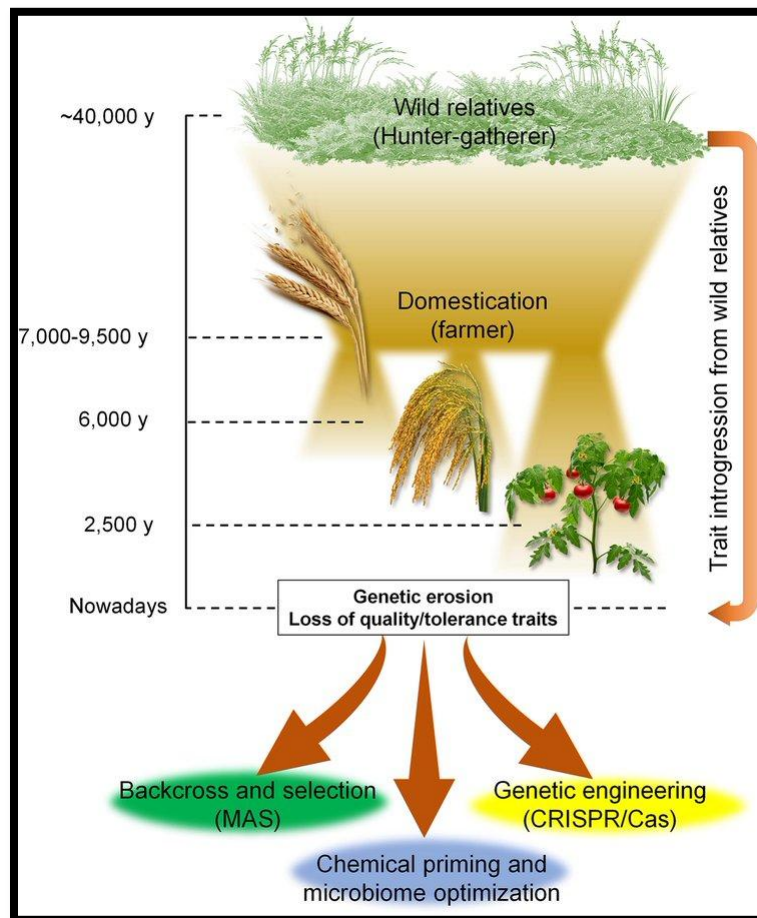
Нема оплећењивача, теоретичара или практичара које се не слаже са чињеницом да је почетни материјал најважнија ствар у креирању нових сорти и хибрида. При стварању новог генотипа најпре је потребно да се постави циљ оплећењивања, односно какве карактеристике оплећењивач жели да нова биљка има. Након циља, је неопходно формирати почетни материјал, који би требало да садржи што је могуће више гена који утичу на испољавање жељених особина постављених у оплећењивачком циљу. Почеци свесног и планираног оплећењивања биљака донели су и жељу за што већим почетним материјалом којим се располаже, што је свакако оправдиво чињеницом да у великом материјалу сигурно морају да постоје и гени од интереса за оплећењивачки циљ. На оплећењивачу је онда да жељене особине уочи у прикупљеном почетном материјалу и да биљке које их поседују размножи и умножи жељени материјал. Међутим, велик материјал захтева и велик број људи који ће се бавити његовим одржавањем и умножавањем, односно повећава потребу за радном снагом. Формирање почетног материјала се назива **колекционисање** и при том поступку се тежи добијању што више разноликих форми, врста, варијетета, сорти, линија и сл.



Слика 9. Оглед са 96 различитих линија и сорти пшенице
Извор: Младенов В, 2012.

Након овог корака, следећи је испитивање варијационог потенцијала одабраног материјала. Постоје разни методи којима то може да се уради. Један од најмодернијих је свакако употреба молекуларних маркера, при чему на врло брз начин може да се дође до велике количине података који оплећењивачу могу да дају информације. Генотипизација овим методама скраћује време потребно да сазнамо у којој мери индивидуе поседују особине од интереса. Циљ осталих расположивих метода је да се морфолошки и физиолошки полиморфизам упозна и види којим карактеристикама располажу одабрани генотипови. Као што је већ речено оплећењивачи који су направили највећи напредак током двадесетог века у нашој земљи су сакупљали и доносили материјал широм света и укрштали га са домаћим материјалом. Управо у тој дивергентности и разноликости оплећењивачког материјала лежи и успех у стварању нових генотипова. Јер уколико укрштамо блиске линије или генотипове који се разликују у малом броју особина, не

можемо да очекујемо превелике скокове у односу на претходно остварене резултате. Иако и овај вид селекције има својих предности, али у каснијим фазама када желимо да обогатимо одређени генотип само једном особином који поседује блиска линија. Домаћи материјал оплећењивач мора да изучава и упозна. Од познавања комбинационих способности свог материјала зависи и каснији успех у селекцији биљака. Познато је да су разни научници на простору СФРЈ ишли у локалне експедиције и скупљали дивље врсте и локалне популације разних гајених биљака. Локалне популације, аутохтоне, **домаће сорте** или аборигене су богатство у оплећењевању биљака јер су саме успеле да се адаптирају промењеним условима спољашње средине и одупру се почетним климатским променама. Због тога их треба неговати, сакупљати и изучавати. Пракса каже да што је пољопривреда неразвијенија у једној земљи, њен аутохтони материјал је богатији јер је састављен од разних форми и популација. Домаћи материјал као производ еволуције у агроеколошким условима појединих региона има незамањиве предности у погледу аклиматизације биљне врсте, адаптабилности и бројним другим особинама од значаја. У данашње време су дивљи сродници од велике важности у оплећењевању при стварању толерантних генотипова на одређене болести, о чему ће касније бити речи у поглављима посвећеним различитим циљевима оплећењевања биљака. Поред колекционисања извор полиморфизма је свакако и хибридизација и то чини разлику између аналитичке и синтетичке селекције. Синтетичка подразумева укрштање материјала са циљем стварања већег полиморфизма, чиме ће се проширити и почетна популација и чиме ће бити створена нова платформа почетног материјала. Поред ових метода, мутације такође представљају значајан извор генетичке варијабилности, али ће о њиховом искоришћавању у оплећењевању биљака касније детаљније бити речи. У литератури пре Другог светског рата се срећу различити термини за почетни материјал, попут матичњака, који се и даље користе, али само за поједине биљне врсте, попут крмних биљака. Професор Спасојевић каже да се место на ком се сеје почетни материјал назова „сабирник почетног материјала“ или „збириште“ и да је у њему најважније да се упозна и изврши упознавање основних особина и карактеристика биљке.



Слика 10. Процес доместификације и утицај на сужавање генетичке варијабилности
Извор: [X](#), 2024.

Међутим, оно на шта треба по њему обратити посебну пажњу је да ли је нека особина у датом генотипу наслеђена или стечена и управо из тога се види дубина којом се и тада приступало детаљној анализи почетног материјала. Оно што је од важности да студент запамти и усвоји је да што је почетни материјал разнороднији, разноликији, дивергентнији и удаљенији, то је бољи. Са друге стране на крају селекционог циклуса сва разноликост мора да буде упакована у један производ који представља униформан генотип где свака посејана биљка мора да буде уједначена, стабилна и постојана по свом унутрашњем саставу (генотипу) и свом спољашњем изгледу (фенотипу).

3.3. Варијације у броју хромозома ратарских биљака

У овом поглављу ће бити обрађене генетичке промене које се одликују изменом броја хромозома у једру. Број хромозома у једру је стална карактеристика одређене врсте. Међутим, услед различитих чинилаца или поступака укрштања, тај број може да се промени. Уколико се повећа или смањи за неколико хромозома, је онда реч о анеуплоидији, ако се умногостручи, реч је о полиплоидији, а ако смањи и сведе на једну хромозомску гарнитуру говори се о хаплоидији. Анеуплоидија омогућава проучавање генотипа. То олакшава утврђивање порекла гајених биљака, као и лакше детерминисање места на којима су смештени гени од интереса за одређену особину. На анеуплоидима је најлакше утврдити помињане QTL-ове. Са друге стране хаплоиди настају услед поремећаја у редукционој деоби или услед деловања неких фактора спољашње средине. Одувек привлаче пажњу генетичара јер је генетичка анализа хаплоида сразмерно лакша, лако се одбацују организми смањене животне способности, али и преводе у диплоидно стање, применом колхицина и сл. Са друге стране, чињеница да код неког биљног организма долази до повећавања броја хромозома, а тиме и броја гена јасно је да ова појава може позитивно да утиче на увећање генетичке варијабилности и да је ову врсту организама могуће искористити у сврху стварања организама отпорних на неповољне услове спољашње средине, толерантности на различите патогене, за повећање приноса и сл. Мутационе промене при којима долази до увећавања хромозомских гарнитура, односно генома позната је под именом полиплоидија. Диплоидни су организми где је број хромозома удвостручен, триплоидни где су утростручени, тетраплоиди где је учетворостручен број хромозома, надаље пентаплоиди и хексаплоиди попут хлебне пшенице, где је број хромозомских гарнитура увећан на шест. Настанак полиплоидије код пшенице је већ објашњен у подпоглављу допринос модерног оплећењевања биљака (1.2.). Разликујемо два типа полиплоида: аутополиплоиди (где су сви геноми међусобно једнаки) и алополиплоиди (геноми који су учествовали у стварању полиплоида се међусобно разликују). Поменути пшеница је природни полиплоид који се састоји из шест хаплоидних хромозомских гарнитура сродних врста житарица, међутим напредак оплећењевања у

нашој земљи је видљив и кроз стварање тритикалеа, односно полиплоида створеног од ражи и пшенице. Одмах након стварања овог „хибрида“ мислило се да ће производња тритикалеа надмашити производњу пшенице и ражи, јер је у јавности приказан да има боље особине од оба родитеља. Неколико деценија касније испоставило је да доминација ове биљне врсте и није тако велика, но свакако је вредна помена као нови организам који је створен захваљујући овом учењу. На тржишту су чести полиплоидни генотипови ражи, шећерне репе и хељде.

3.4. Мутације

Мутације, у најширем смислу, али и најтачнијем значењу подразумевају наследне промене генома. У свом делу „Мутациона теорија“ је обновитељ Менделовог учења, Хуго де Фриз предложио овај термин који је убрзо постао опште прихваћен. Касније је Дарвин прикупио и објавио бројне примере природних мутација, а седамдесетак година касније 1927. године Милер изазива прве вештачке промене гена. Мутациона промењивост је карактеристика сваког живог бића, који се одликује могућношћу дељења. Мутације су један од могућих извора генетичке варијабилности и у уџбенику ће се писати само о могућим применама истих у оплемењивању биљака. Мутације се деле на **природне** и **изазване**, при чему природне имају ниску фреквенцију и сматра се да једна у милион или једна у милијарду биљака мутира природним путем. Свака мутација је резултат таутомерног померања водониковог атома при чему долази до промене у спајању азотних база на ДНК. Природне мутације настају без свесног утицаја човека и врло их је тешко уочити. Иако није неуобичајено да у семенској производњи имамо огроман број једнаких индивидуа, које су због своје хомозиготности веома уједначене, уочити њихове међусобне разлике изазване природним мутацијама је скоро немогуће. Наравно, зависи о којој врсти природних мутација се ради и уопште колико је ту промену могуће фенотипским прегледом уочити. Са друге стране изазване мутације су доживеле свој научни врхунац током прошлог века када су изазиване јонизујућим зрачењем, икс зрацима, гама зрацима, неутронима и хемијским мутагенима не би ли довеле до промена и повећања генетичке

варијабилности на пшеници, пиринчу, јечму, памуку, кикирикију и пасуљу. Учесталост изазваних мутација се разликује у зависности од начина којим је изазвана, но свакако је фреквенција појаве мутација вишеструко повећана и фенотипски је лакше на пољу уочити изазвану мутацију од спонтане. Када је порастао значај мутација проналаском средстава за ослобађање енергије, атомског језгра, почеле су да се истражују и дозе радијације којима је могуће изложити гајену биљку са циљем побољшања особина. За биолошка истраживања претежно су коришћене честице као што су: електрони, позитрони, фотони, меза честице, неутрони и алфа честице. Са ове временске дистанце може да се тврди да код ратарских усева није дошло до превелике употребе било којих зрачења која су резултирала великим успесима у повећању приноса или јачању неке друге особине. Важно је напоменути да у Европи и даље ради *Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, International Atomic Energy Agency*, са седиштем у Тулну, Аустрија. У последњих тридесетак година тамо је више од 2000 сорти директних мутаната или деривата обрађено и створено, претежно хортикултурних биљака. Већим делом су то све биљне врсте које се размножавају на вегетативан начин. Углавном је циљ њихових истраживања везан за радиоактивне пробе у рекомбинатној ДНК за клонирање и мапирање гена, као и за трансгенезу и молекуларне маркере.

Највећи број изазваних мутација садржи нежељене особине и не могу директно, за сада, да се искористе за испуњење циљева у оплећењивању биљака. Поред бројних модерних технологија у оплећењивању биљака је помало непрактично бавити се мутацијама које нису дале запажене резултате у агрономији од када се човек бави њима, што је последњих сто година. С разлогом је научни фокус померен да другим научним технологијама, а мутације могу да послуже као допуна конвенционалним методима одабира и селекције.

3.5. Инкомпатибилност и стерилност

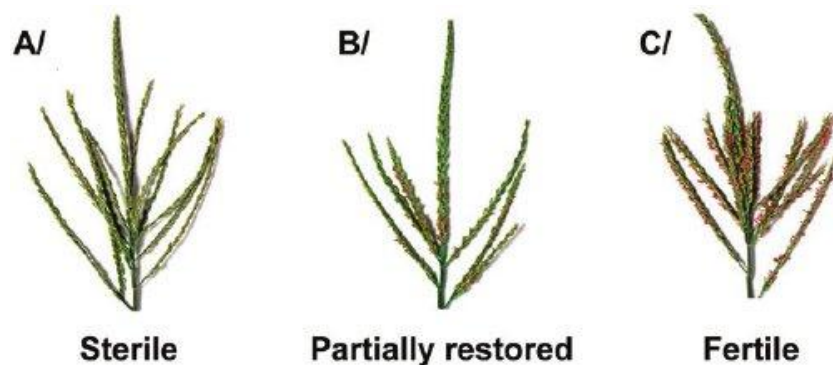
Инкомпатибилност представља свако спречавање спајања гамета унутар репродуктивног апарата која није узрокована дефектом самих гамета. Дели се на два основна типа: самоинкомпатибилност и страноинкомпатибилност. Самоинкомпатибилност (аутоинкомпатибилност) је појава где полен није у стању да оплоди јајну ћелију исте биљке, док је страноинкомпатибилност (алоинкомпатибилност) случај где полен једне биљке није у стању да оплоди жиг тучка неке друге биљке. Друга врста инкомпатибилност је посебно важна оплећењивачима који се баве интерспецијес укрштањима. Инкомпатибилност не треба мешати са појмом стерилности, јер стерилност представља одсутност или нефункционалност полних органа, док је инкомпатибилност само немогућност оплодње из других разлога. Ти разлози су тројаки: *протоандрија*, *протогинија* и *херкогамија*.

- Протоандрија је случај када у истом цвету прашници сазревају пре тучка и не постоји биолошки начин да полен тог цвета оплоди жиг истог цвета. Но, такви прашници могу да оплоде жиг тучка неког другог цвета, те је јасно да он није стерилан.
- Протогинија је случај када жиг тучка у једном цвету сазри пре прашника истог цвета. Исто као и код протоандрије, тада не постоји могућност оплодње унутар истог цвета, међутим, прашници неког другог цвета могу неометано да оплоде жиг тучка првог цвета.
- Херкогамија је појава механичке удаљености и раздвојености мушких полних органа од женских полних органа. У том случају међусобна оплодња такође није могућа.

Инкомпатибилност може да се класификује на различите начине у зависности од: (1) времена акције гена → у зависности на стадијум развића у ком на фенотипу долази до изражавања инкомпатибилности. Поменута појава може да се развија у тучку и у прашницима (спорофитна и гаметофитна); (2) везаности полиморфизма цветова → овај појам је везан за морфолошку грађу цвета. С обзиром да цветове можемо да поделимо на хетероморфне и хомоморфне, хетероморфне карактерише хетеростилија у види дистилије и тристилије; (3) места испољавања → инкомпатибилност може да се испољава у стигми, у стилусу и у оваријуму; (4) начина генетске контроле → који се деле у две групе: инкомпатибилни системи који су контролисани полиалелним серијама једног, а ређе уз помоћ два или више локуса и инкомпатибилни системи који су контролисани уз помоћ двоалелних локуса или више. У процесу оплемењивања биљака је некада неопходно савладати инкомпатибилност. Постоји неколико начина за то: (1) полинација цвета у врло раној фази развоја (2) излагање мајчинских цветова ниским или високим температурама уз осветљавање (3) полинација пред сам крај цветања (4) употреба раније сачуваног полена (5) гајење инкомпатибилних биљака у неоптималним условима (6) примена радијације (7) употреба „ментора“, односно додавање компатибилног полена који може да индукује клијање полена (8) примена хормона и мутагена (9) коришћење електрошокова (10) фертилизација *in vitro* (11) превођење биљака у полиплоидну форму (12) промена локуса повратним укрштањима и бројна друга.

Стерилност код биљака је двојаког узрока (1) генетичког и (2) физиолошког. Ову појаву су први уочили Келрајтер, Херберт, Гартнер и Дарвин. Разликујемо две врсте стерилности и то аутостерилност, када биљке нису у могућности да створе потомство од сопственог полена и интерстерилност када при укрштању два генотипа није могуће добити потомство. Важно је да оплемењивач разликује неподударност између биљака, односно имкомпатибилност и стерилност. Стерилност је стечена и може бити плеторичка (изазвана превеликим уносом азота), стерилност због лоше кондиције биљака (карактеристично за воће), због утицаја спољашњих фактора (високе температуре, влада, земљиште...), стерилност као последица хибридизације због непотпуне коњугације хромозома, стерилност као последица полиплоидије и много други узроци. Од великог значаја за оплемењивање биљака, представља мушка стерилност, јер је женска стерилност прилично нестабилног карактера. Мушка стерилност је генетски узрокована код ње цвет не ствара

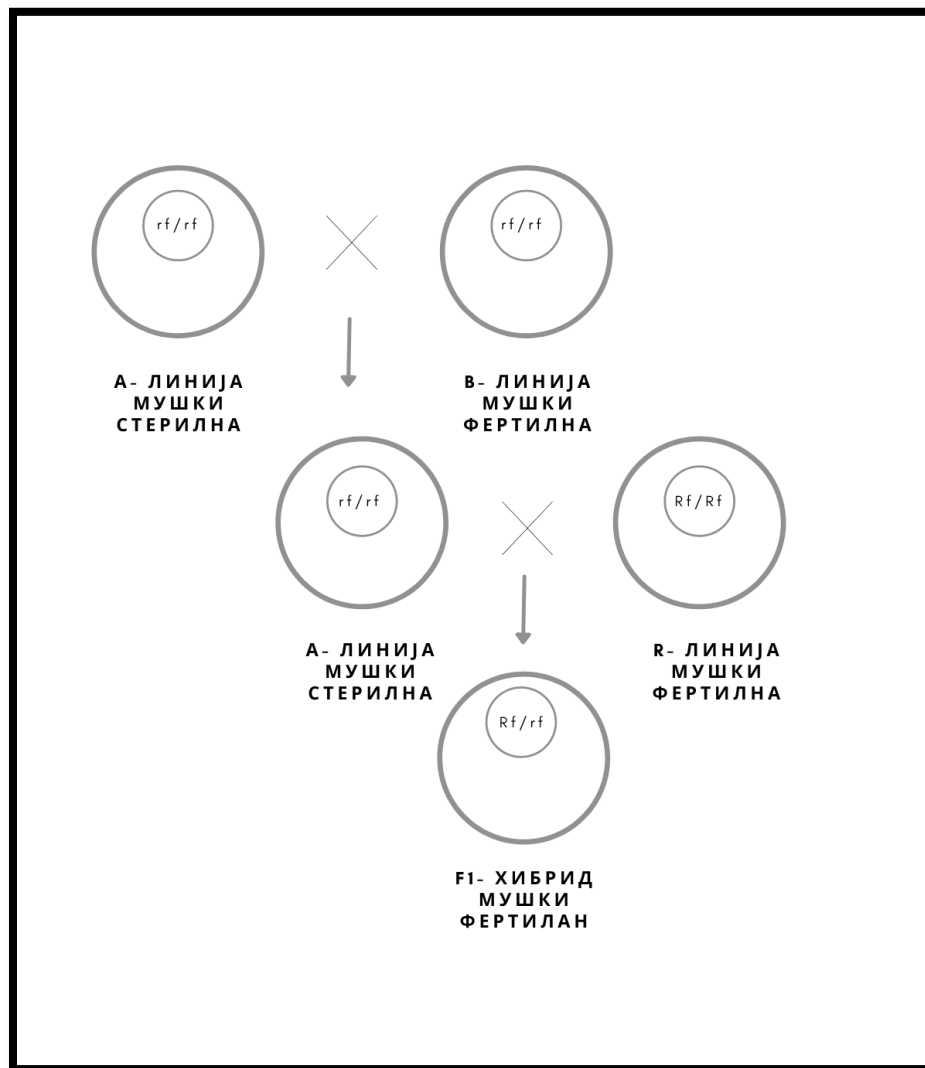
функционални полен или антере, али јајна ћелија функционише нормално. Разликујемо три врсте такве стерилности: генетичка-условљена деловањем једног или више гена у хромозомима, цитоплазматска мушка стерилност (**CMS**) – условљена изван хромозомским ефектима и цитоплазматска-нуклеарна мушка стерилност – условљена факторима обе претходне врсте. У даљем тексту аутор уџбеника ће обрадити детаљније једино другу врсту ове стерилности, јер сматра да је за студенте основних академских студија она од важности. Цитоплазматска мушка стерилност је контролисана од стране цитоплазме у биљној ћелији, али може да буде условљена и ванједарним генима, који се још називају и плазмагени. Одликује се, као и свака мушка стерилност нефункционалним антерама или поленом. Укрштањем биљке која поседује цмс са биљком која је мушки фертилна добија се мушко стерилно потомство и управо због тога је од значаја да линија отац мора да садржи гене за рестаурацију мушке фертилности (Rf).



Слика 11. Изглед метлице кукуруза (А- стерилна метлица без антера прашника, В – делимично враћена фертилност, С – фертилна метлица биљке кукуруза).

Извор: Weider et al. (2009): *Stability of CMS in Maize under different environmental conditions. Crop Science.*

Производња хибрида тако подразумева неколико корака, при чему је први уношење цмс-а у линије које ће бити мајчинска линија (А), други корак је одржавање цмс линије и њеног фертилног одрживача (В), трећи корак је уношење рестауратора фертилности у линију опрашивача (R) и на крају четврти корак је производња хибридног семена (F₁).



Слика 12. Шематски приказ стварања хибрида коришћењем цитоплазматске мушке стерилности. А - мајчинска линија; В – линија отац; R – рестауратор фертилности; rf – нересторерски алели ресторер гена; Rf – алели који означавају рестауратора фертилности. Већи круг на шеми представља цитоплазму, док мањи представља једро.

Извор: Ауторски цртеж, Младенов В, 2022.

Цитоплазматску мушку стерилност је могуће створити и хемијским путем, као што то раде водеће компаније на тржишту, поготову код пшенице. Такви хемијски препарати су познати као супресори полена и хемијски хибридујући агенси. Примена ових препарата је фолијарна и истраживања овог типа рађена су на кукурузу, пшеници, сирку и неком поврћу. Генерално, некада се цмс много више користио код странооплодних биљака, међутим у данашње време на тржишту постоје бројне сорте пшенице створене

овим методом. На овај начин компаније остварују много већу зараду с обзиром да је и семе самооплодних биљака неопходно куповати сваке године. Такође, бројна су истраживања која поткрепљују изјаве компанија да хибридно семе самооплодних биљака при истим улагањима у остале аспекте пољопривреде доноси већи принос.

4. МЕТОДИ ОПЛЕМЕЊИВАЊА БИЉАКА

У програмима стварања нових сорти и хибрида, оплећењивачи се често срећу са проблемом одабира родитељских парова, који ће у међусобним укрштањима да дају жељени генотип. Један од најважнијих корака у оплећењивању биљака је укрштање родитеља - хибридизација већ постојећих сорти, али и увођење нове генетичке варијабилности. Успех оплећењивачког процеса зависи пре свега од доброг плана и величине почетне популације. Одабир добрих родитељских парова, добрих комбинатора, је предуслов за успешну селекцију и касније добијање нових сорти и хибрида. У том кораку у обзир мора да се узме ефекат гена и начин наслеђивања жељене особине. Из тог разлога је од највећег значаја изузетно добро познавање генетичког материјала који поседујемо у почетним популацијама. Без тог знања, нећемо имати ни приближну представу шта можемо да добијемо у комбинацији са неким другим генетичким материјалом. Одређивање комбинационих способности родитељских парова као улазног генетичког материјала, један је од метода уз помоћ ког можемо да сазнамо од којих комбинација укрштања можемо да очекујемо супериорније потомство у односу на родитеље. Да би оплећењивач приступио ваљано одабиру почетног генетичког материјала, најпре мора да има јасно формиран циљ оплећењивања. Уколико не одабере гене које жели да рекомбинује, не може ни да се очекује већи успех, без обзира на одабрани модел укрштања. Основни фактори који одређују начин одабира генетичког материјала су циљ оплећењивања и постојећи генетички извори. Целокупни генетички материјал који поседујемо у почетној популацији се назива **гермплазма**. Гермплазма одређене врсте подразумева све створене сорте/хибриде, линије, дивље и алтернативне сроднике, потомства њихових укрштања, различите интерспецијес и интергенус хибриде и биљни материјал који је у процесу оплећењивања. Она се често сабира у генетичке колекције и чувано семе се сеје сваке две-три године, да би се избегла појава мировања семена и улазак у фазу дормантности. У једном укрштању се користи само мали део гермплазме и тај део се назива „генетички пул“ (*genetic pool*). Од највећег значаја је да целокупну гермплазму и

генетичку колекцију одржавамо у добром здравстеном стању, јер само здрав генетички материјал можемо да користимо за укрштање. Због тога наводи Боројевић (1981) да у конвенционалном оплећењивању постоје три концепта одабира родитељских парова: концепт сорте, концепт особине и концепт гена. Концепт сорте подразумева одабир великог броја сорти за укрштање под претпоставком да ће се остварити и такве комбинације позитивних особина које желимо у новој сорти. Данас се он користи само код интродукције нових биљних култура у програме оплећењивања биљака, као што је урађено скоријих година са лаником (*Camelina sativa* L.). Да би генотип био признат у надлежном министарству, мора да задовољи три неопходна циља. Да буде различит од других генотипова, униформан унутар популације и стабилан. Концепт особине подразумева одабир родитељских парова на бази познавања особине или особина које поседују. Одабир родитеља на бази особина подразумева да се траже разлике у особинама које се желе комбиновати између различитих сорти. Концепт гена подразумева одабир полазног генетичког материјала за укрштање на бази познавања генетичке конституције особина на које се оплећењивање врши. Применом модерних алата у оплећењивању биљака и молекуларног маркирања, на светском нивоу овај концепт је у потпуности искључио претходна два. Свака светска компанија која се бави овим начином оплећењивања биљака поседује лабораторије које врло брзо доводе до жељених резултата у испитивању генетичке конституције родитеља и укрштања и на тај начин знатно скраћују време производње нових сорти и хибрида. Маркерима помогнута селекција (МПС) уз помоћ техника SRS, SNP, геномском селекцијом, едитингом и *rapid cycles* методама прецизно и брзо доводи оплећењивача до сорте или хибрида какве жели да створи.

Оно што претходи методима селекције, који ће бити описани унутар овог поглавља са освртима на оплећењивање самооплодних и странооплодних биљака су методи укрштања. Методи укрштања се деле на **дивергентне** (при чему се тежи укрштању што различитијих родитељских компоненти) и **конвергентне** (појам конвергенције је дефинисан постепеним приближавањем у простору и времену, те се овде мисли на укрштање сличних генотипова). Дивергентни методи укрштања су: метод простог укрштања, метод тројног укрштања, метод сукцесивног укрштања, метод двоструког и диалелног укрштања. Метод простог укрштања подразумева хибридизацију два одабрана

родитеља. Родитељи за ово укрштање морају да буду одабрани тако да један родитељ поседује више пожељних гена од другог родитеља за исту особину или да је један родитељ заступљенији у производњи од другог. Резултат ће бити да ће се у другој генерацији појавити биљке које су боље од бољег родитеља. У овом случају удео гермплазме ће бити 50%:50%. Уколико та комбинација није довољна, онда треба приступити повратном укрштању са жељеним родитељем који поседује гене од интереса, не би ли се удео гермплазме другог родитеља повећан на 75%. Уколико су нам након простог укрштања потребни нови гени, које не поседују прва два родитеља, неопходно је приступити тројном укрштању, односно кроз трећег родитеља унети гене од интереса, укрштањем F_1 генерације са трећим родитељем. У том случају трећи родитељ уноси 50% својих гена у нови генотип.

Табела 2. Шематски приказ врсти дивергентног укрштања. Аутор Младенов В, 2022.

<i>Метод укрштања</i>	<i>Просто укрштање</i>	<i>Тројно укрштање</i>	<i>Сукцесивно укрштање</i>	<i>Двоструко укрштање</i>	
Родитељи	AxB	AxB	AxB	AxB	CxD
F_1 генерација	50%-50%	(AxB)xC	(AxB)xC	(AxB)x(CxD)	
F_2 генерација	-	25%-25%-50%	[(AxB)xC]xD	25%-25%-25%-25%	
			12,5%-12,5%-25%-50%		

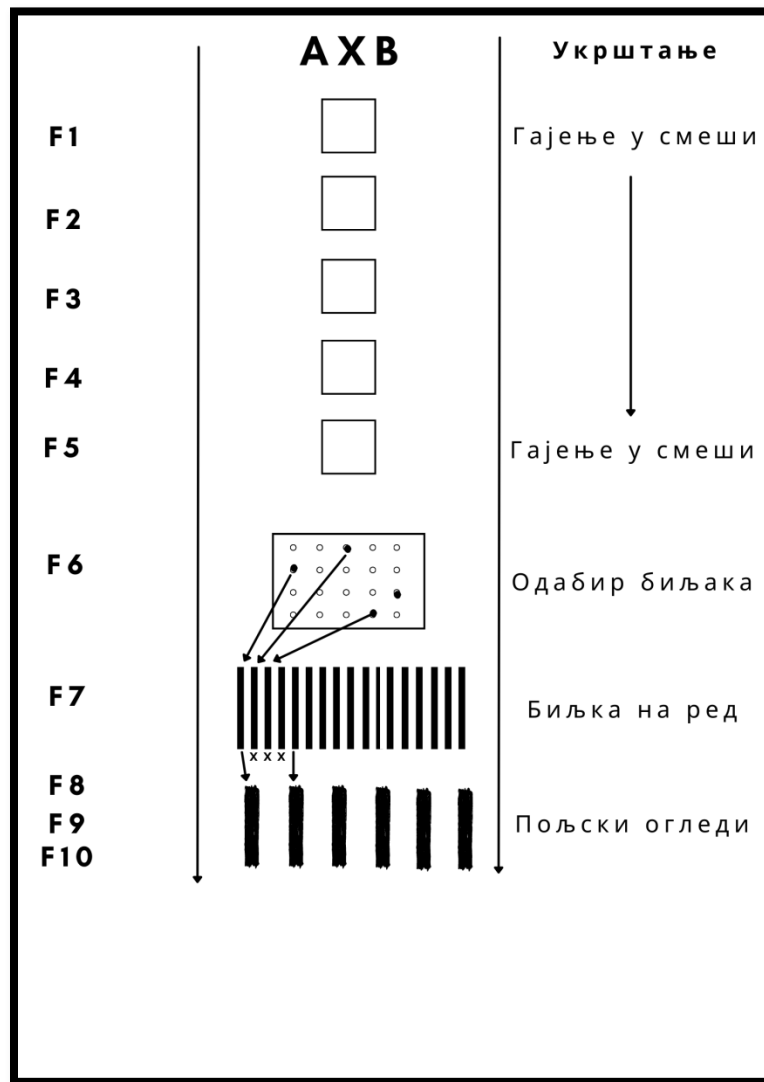
Метод сукцесивног укрштања подразумева одабир два родитеља, којима се сукцесивно додаје најпре још једна компонента, а онда и четврта. Дакле, комбинацији прва два родитеља се додаје трећи, а касније тој F_1 генерацији се додаје четврти родитељ, те удео родитеља редом износи 12,5%:12,5%:25%:50%. Метод који такође укључује хибридизацију четири родитеља је метод двоструког укрштања, међутим код њега долази најпре до укрштања једног родитељског пара и другог родитељског пара, а касније њихово међусобно укрштање, при чему сваки родитељ тада доноси новом генотипу 25%. Чест метод укрштања у колекцијама је просто испитивање комбинационих способности и брз скрининг материјала у форми диалелних укрштања. Он подразумева укрштање сваког

генотипа које имамо на располагању са сваким, при чему је број комбинација тада $n \times (n-1)$. Најучесталији метод конвергентног укрштања је заправо комбинација два родитеља, као у простом укрштању праћено серијом повратних укрштања са бољим родитељем, не би ли се унео од лошијег родитеља ген од интереса, а кроз 6-7 серију повратних укрштања фиксирао у бољем родитељу. Повратна укрштања је потребно понављати док се удео бољег родитеља не повећа до готове хомозиготности.

4.1. Оплемењивање самооплодних биљака

Метод селекције у смеши је најстарији, најмање захтеван и најједноставнији метод селекције у оплемењивању биљака. Претеча овог метода селекције је само масовно одабирање, где се код самооплодних биљака разликују два типа селекције у смеши: просто и групно одабирање. Оваква врста одабирања се сретала и као природна појава, када се у сортним смешама вршило чишћење од свих састојака и мање издржљивијих генотипова који нису могли да издрже услове спољашње средине. У неку руку она представља и вид природне селекције. Масовно одабирање је веома једноставно код самооплодних биљака и заснована је на одабиру добрих биљака са одређеног локалитета, жетве таквих класова заједно и гајења у смеши. Данас се масовна селекција користи више у семенарству, него у оплемењивању биљака, као метод одржавања сортне чистоће постојећих сорти. Наиме, при прегледима семенских усева се такође препоручује уклањање атипичних биљака (тзв. ауткресева) и одржавања усева чистим. *Учинковитост селекције у смеши зависи од ефекта гена на особину на коју се врши оплемењивање, од херитабилности особине и од интеракције генотипа са спољашњом средином.* Уколико гени за особину на које се врши оплемењивање имају адитивни учинак, успех овог метода ће бити већи, под условом је ефекат гена доминантан. С обзиром да се масовна селекција врши само на основу фенотипа и њен циљ није да поскупи овако створен генотип да би овде била укључена и маркерима помогнута селекција, сасвим је разумљиво да у великој мери зависи од херитабилности. Подсећамо да је херитабилност степен просечне наследности код одређене индивидуе и у специфичним условима спољашње средине. У случају када је

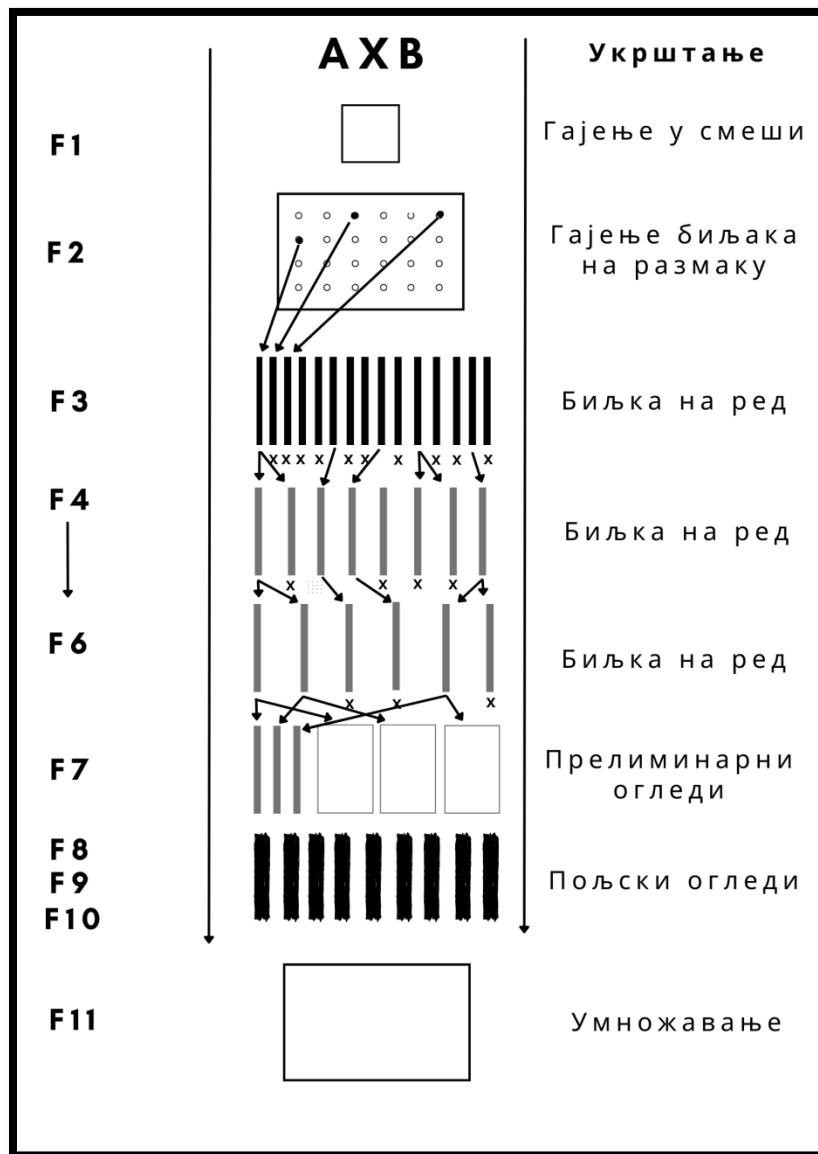
херитабилност ниска, онда је корисно користити вишескратну масовну селекцију, односно поновити поступак одабира пре новог гајења у смеши. Уколико је интеракција генотипа и спољашње средине висока, што се дешава када је херитабилност ниска, успех овог метода ће опет бити незадовољавајући. Метод селекције у смеши и начин на који се она данас обавља је приказан на слици 13.



Слика 13. Метод селекције у смеши код самооплодних биљака.
Извор: Ауторски цртеж, Младенов В, 2022.

Шлепер и Полман (2006) кажу да је након укрштања родитеља неопходно у првој генерацији одабрати 50-100 биљака. Све атипичне биљке треба обавезно одстранити пре одабира, док одабране класове треба заједно пожњети и сејати следеће године у смеси. У другој генерацији треба подићи број одабраних биљака на 2-3000 и такође жњети заједно и сејати у следећу генерацију до шесте генерације где ће величина гледа у петој бити знатно већа. Након тога за сетву у шестој генерацији треба одабрати 3-5000 семена из које одабирамо 300-500 биљака, чије семе од сваке биљке чувамо одвојено за следећу генерацију и сејемо сваку биљку у одвојен ред. Жељена потомства из биљке на ред одабирамо, атипичне биљке одстрањујемо и стављамо у одвојене пробне пољске огледе. Након неколико година, при чему сваке године одстрањујемо атипичне биљке и подижемо хомозиготност линије, такве линије су спремне за слање у комисију. Метод масовне селекције се са разлогом употребљава углавном за одржавање генетичке чистоте, а не као метод стварања нових самооплодних генотипова јер има бројне недостатке. Одабирање у овом методу се врши углавном по фенотипу и врло је субјективан, али чак и „испраксаном оку“ је лако да пропусти неку добру биљку или особину. Бројни су аутори који сумњају у хомозиготност сорти створених масовном селекцијом, јер је током првих пет генерација све било гајено у смеси и није било селекције.

Индивидуални метод селекције је метод селекције који је највише коришћен, поготову на нашим просторима, а и даље је у широкој употреби, с обзиром да су сорте рекордери пшенице по питању приноса, али и технолошког квалитета семена управо створене на овај начин. Професор Спасојевић индивидуално одабирање дефинише као разлагање смеше на делове, што у својој основи и јесте. Индивидуални метод одабирања биљака и селекције је далеко савршенији и напреднији од селекције у смеси. Суштина индивидуалног одабирања се састоји у појединачном одабирању родоначелника биљака, њиховој одвојеној сетви и појединачном посматрању сваке биљке. Неопходно је издвојити појединачне биљке након почетног укрштања преводити их у хомозиготно стање и стално радити на „чишћењу“ односно издвајању атипичних биљака. Основни елемент овог метода је заправо испитивање и оцењивање материјала и зато овакав програм може да води само једна особа, никада више, јер око оплећењивача није замењиво. Метод индивидуалне селекције се назива још и педигре метод селекције представљен је шематски на слици 14.



Слика 14. Индивидуални метод селекције код самооплодних билака.

Извор: Ауторски цртеж, Младенов В, 2022.

Он представља метод индивидуалног одабирања појединачних билака и праћење њиховог родослова (педигра) кроз генерације све до добијања хомозиготних линија или скоро хомозиготних линија. Поступно гледано по генерацијама након укрштања којим почиње сваки метод селекције, семе прве генерације се сеје на већи размак него што је то случај у производњи да би биљке имале више простора за развој и да се избегне конкуренција између самих билака. У F₁ генерацији је довољно радити на 50-100 билака. Пре жетве је неходно одстранити ауткросеве и самооплодњаке, односно све што није

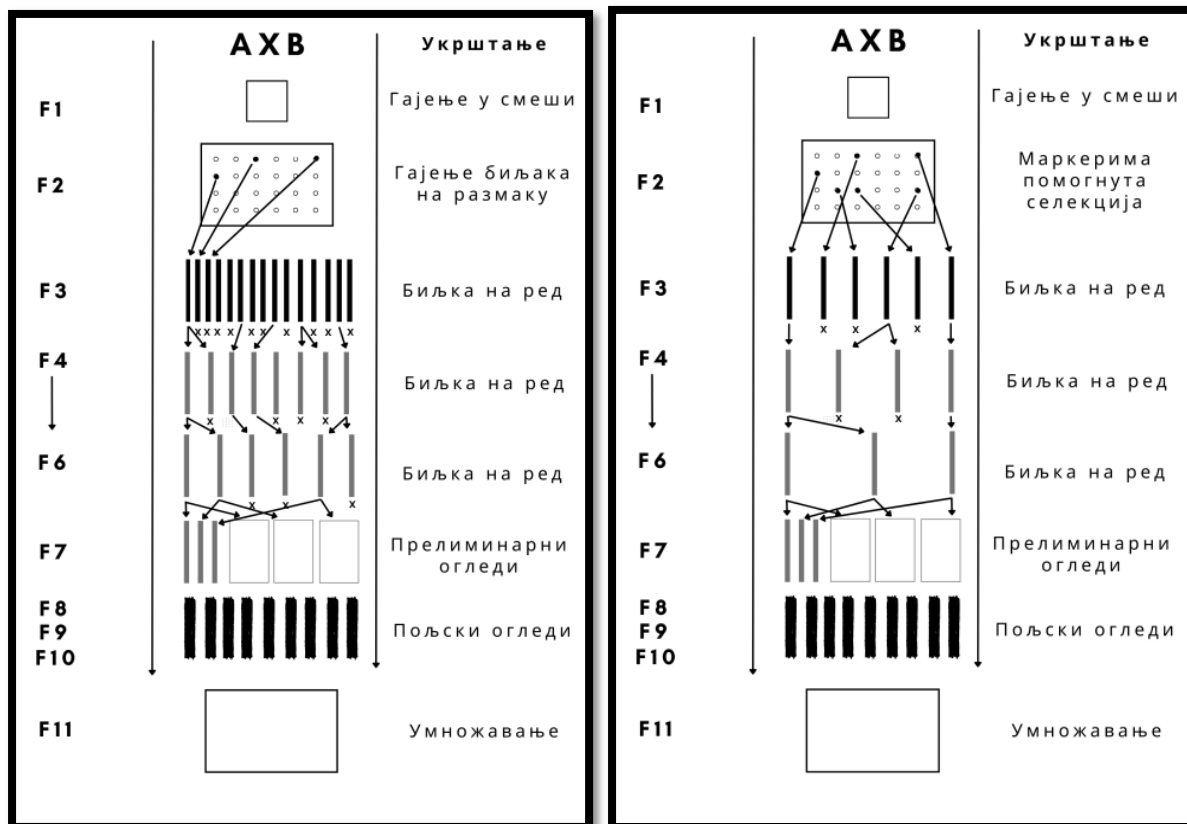
резултат укрштања, као и лоше комбинације. Унапред треба водити рачуне и не затрпавати се просечним материјалом који није искористив за даљи оплећењивачки рад. Семе сваке F_1 биљке се врше посебно и сеје у посебан ред или парцелицу у следећу генерацију. Сетва се опет врши на већи размак. Ова генерација представља генерацију у којој је материјал најдивергентнији и долази до раздвајања особина и максималне рекомбинације гена. Управо због тога је неопходно бити изузетно пажљив при сваком прегледу редова или парцелица, али не и превише шкрт на одабиру из друге генерације, јер су биљке у скоро 50% хетерозиготи. У овој етапи почиње први одабир биљака по фенотипу за које можемо да тврдимо да садрже комбинације особина од укрштених родитеља. Број биљака које треба гајити у другој генерацији је 2-3000 и оно што је неопходно је од сваке генерације обавезно остављати резерву семена за случај да се угрози извођење пољског огледа. Након детаљне анализе и проматрања биљака током целе вегетације на крају ове генерације је неопходно одабрати жељене биљке, односно биљке које поседују жељене комбинације особина родитељских парова. Након одабира за који многи теоретичари тврде да треба да износи до 10% од укупног материјала генерације, следи жетва сваке биљке понаособ. Одабране биљке из друге генерације се сеју у трећу генерацију F_3 , при чему се семе сваке одабране биљке сеје у посебан ред, са већим размаком између биљака као и у претходним генерацијама. Сличан процес се одвија до шесте генерације, F_6 , где се постепено из генерације у генерацију повећава хомозиготност линија. Посматрајући биљке које се бокоре, разликујемо два метода код сетве материјала на ред, при чему може да се сеје клас на ред или биљка на ред. Семе једне биљке је униформно и представља исти генетички материјал, но постоји шанса мешања материјала уколико биљке полегну и због тога је битно водити рачуна код узимања потомства целих биљака, јер то може да резултира „лажном хетерозиготношћу“ у каснијим фазама, односно да оплећењивач помисли да је дошло до испољавања других особина, а у ствари је реч о мешању класова. Семе из шесте генерације се одабира по истим принципима као и из ранијих генерација и у седму генерацију, када су линије већ постигле завидну хомозиготност (што се утврђује тестовима хомогености), се сеје у редове и поставља у прелиминарне огледе са признатим сортама ради поређења приноса и особинама од интереса. У пољским огледима биљке се тестирају у пракси најпре прве године на једном локалитету и уколико је резултат задовољавајући; тестирају се током три године у по минимално три понављања и на неколико локација,

уколико имамо довољно семена. Уколико пак немамо у том моменту довољно семена је неопходно извршити „мало размножавање“ и током године умножити семе зарад пољских огледа. Након пољских огледа оплећењивач и оплећењивачка кућа одлучују шта од материјала ће да се пошаље у процес признавања сорти код ресорног министарства, о чему ће детаљније бити речи у каснијим поглављима уџбеника.

Водеће светске семенске куће у приватном сектору су у потпуности посвећене **индивидуалној селекцији уз помоћ маркера** (маркерима помогнута селекција - МПС). У наставку ће бити објашњено на који начин је анализирани метод индивидуалне селекције могуће скратити, односно поједноставити. Овај вид селекције нам омогућава да се у великој мери ослободимо просечног материјала и да одабирамо само индивидуе које са сигурношћу од 100% поседују гене од интереса за даље коришћење. Конвенционални оплећењивачи користе МПС не да би скратили време потребно за стварање нове линије, јер они не доводе до брже хомозиготности, већ да у следећу генерацију преносе само материјал, односно линије за које су сигурни да поседују гене од интереса. У поглављу биотехнологија ће бројни методи оплећењивања бити размотрени, али треба знати да она може да пружи 4 важне ствари при стварању нових генотипова:

- идентификацију ДНК маркера који су у вези са пожељним особинама и генима од интереса;
- идентификацију локација гена који су одговорни за особине од интереса;
- клонирање гена од интереса и
- инсерцију нових гена из других организама.

На слици 15. је приказан метод индивидуалне селекције код самооплодних биљака уз примену молекуларних маркера, не би ли студенти визуелно лакше разумели у чему она олакшава посао оплећењивача, као и на који начин МПС повећава ефективност одабраног материјала.



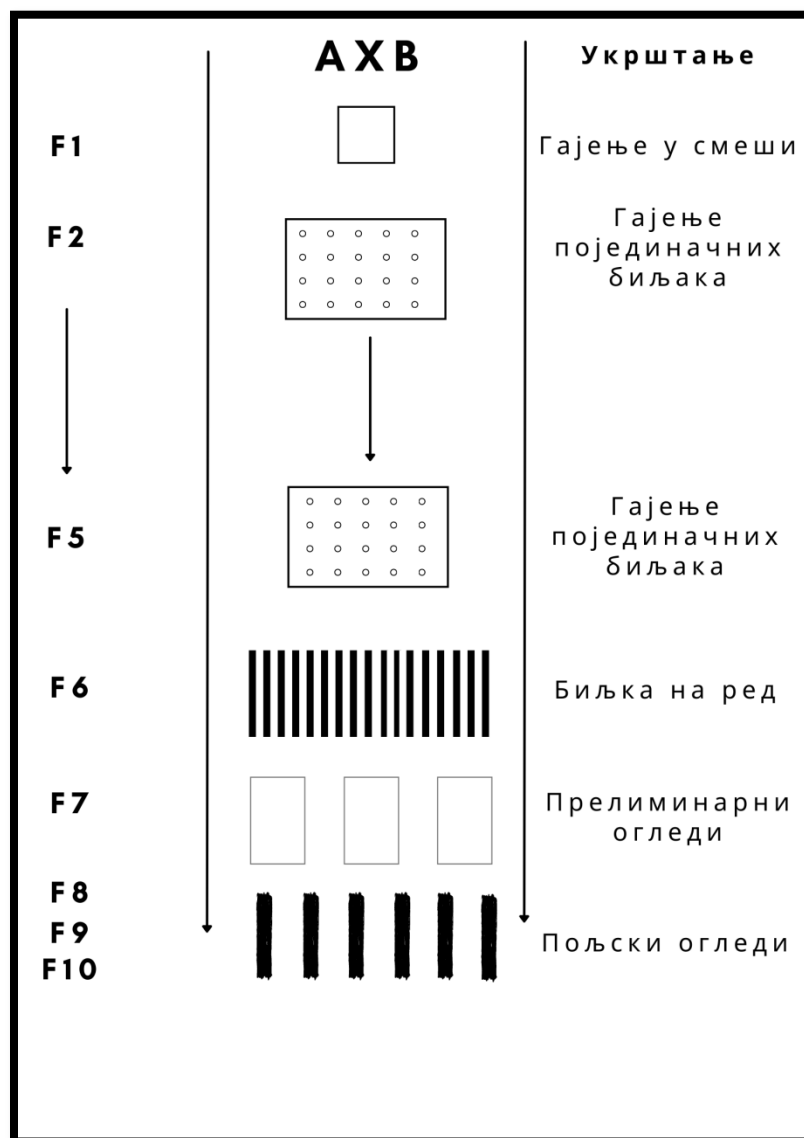
Слика 15. (а) Индивидуални метод селекције код самооплодних биљака; (б) Индивидуални метод селекције код самооплодних биљака уз примену МПС - Маркерима помогнута селекција.

Извор: Ауторски цртеж, Младенов В, 2022.

У генерацији када долази до максималне рекомбинације гена и раздвајања особина (F_2) код конвенционалне индивидуалне селекције на оплемењивачу је да врло брижно прегледа добијено потомство из прве генерације и да одабере које биљке ће се даље умножавати. Процес који називамо преглед или фенотипски скрининг материјала је од значаја у овим генерацијама и напоменуто је да не може да га врши више људи јер само испраксано око оплемењивача може да уочи потребне разлике и препозна са ограниченом сигурношћу која биљка поседује гене од интереса. Са друге стране МПС нам омогућава да у истој тој генерацији испитамо биљке и са апсолутном сигурношћу кажемо која биљка односно потомство од којих биљака треба да буде сејано у трећу генерацију. Искуство је показало да је број биљака много мањи од оног који би конвенционални оплемењивач одабрао. Цео процес касније може да иде исто као код индивидуалне селекције, међутим хомозиготност ће бити постигнута раније код биљака где је скрининг материјала извршен

уз помоћ МПС, него фенотипски. Такође, МПС је могуће радити у много ранијим фазама вегетације биљке, из зеленог ткива се већ може изоловати потребна ДНК, тако да није потребно узгајати биљке до пуног зрења и пратити биљку од сетве до жетве. На тај начин је могуће скратити процес селекције за неколико година.

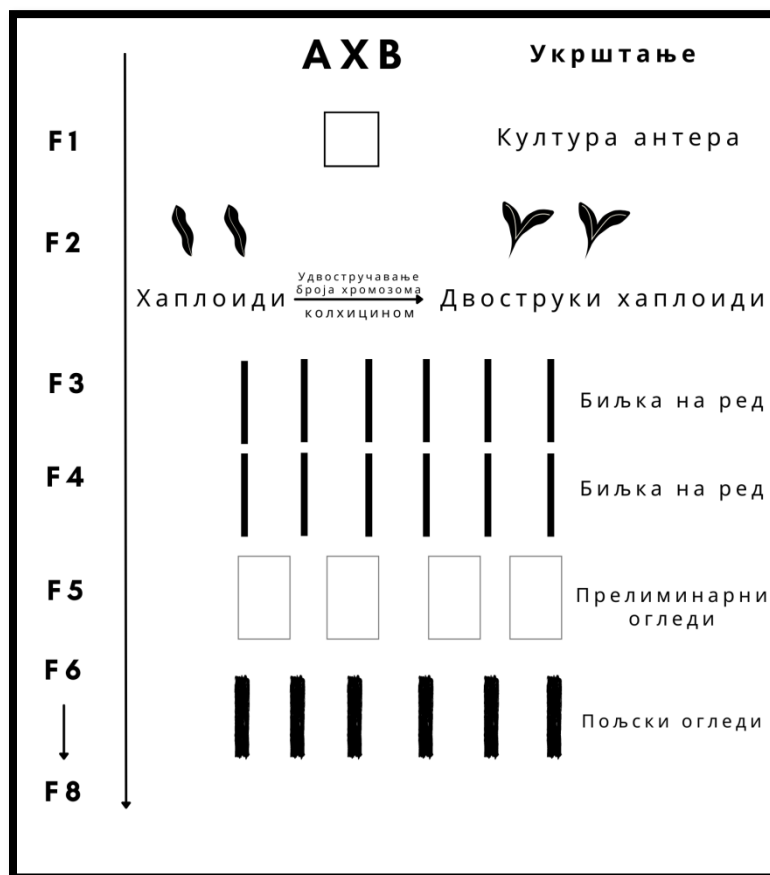
Метод потомства једног семена је метод где је извршена модификација индивидуалног метода селекције у циљу убрзавања процеса конвенционалним путем. Шема овог метода је приказана на слици 16.



Слика 16. Метод потомства једног семена код самооплодних биљака (*Single Seed Descent Method*).
Извор: Ауторски цртеж, Младенов В, 2022.

Метод је заснован на логици да треба да се тестира потомство све биљке из друге генерације. Међутим, с обзиром да је реч о великом материјалу, неопходно је одабрати само једно семе сваке биљке, да би се избегло затрпавање материјалом. Узети материјал може да се гаји и у фитотронима, с обзиром да се одабира само једна биљка, лако је узгојити у вештачким условима. Међутим, основна мана овог модела селекције је што биљке нису изложене лошим утицајима спољашње средине, слабе биљке не буду елиминисане услед ниских температура, лошег земљишта и сл. На тај начин у следећи круг селекције не пролазе само отпорне биљке. Након што се првих пет генерација одабира појединачно семе од жељене биљке, у шестој генерацији се сеје биљка на ред и у седмој долази до прелиминарних огледа, чији се резултати пореде са комерцијалним сортама. Уколико резултати задовоље и за тим се укаже потреба, ради се мало размножавање или се постављају огледи у понављањима, по могућству на више локалитета.

Метод двоструких хаплоида (ДХ) ће у уџбенику бити објашњен у два наврата. Овде је представљена шема, односно основ из ког произилази касније деловање и стварање инбред линија хибрида кукуруза, Метод ДХ представља подстицање формирања калуса код хаплоидног полена, не би ли се из њега развила биљка са диплоидним бројем хромозома. Хаплоидне ћелије су погодније од диплоидних за сваку примену генетичког инжењеринга, због одсуства доминације и других генетичких интеракција. Дуплирање броја хромозома је честа појава за време формирања калуса, мада је то могуће подстаћи и употребом колхицина и на друге модерне начине. За добијање хаплоидних биљака у лабораторијским условима се користе изоловане ћелије или антере које се гаје на посебним храњивим подлогама. Хаплоидне биљке које се развију из микроспора нису способне за репродукцију, али у култури ткива често долази до спонтаног дуплирања броја хромозома и добијања диплоидних хомозиготних биљака (Слика 17).



Слика 17. Метод стварања нових генотипова применом двоструких хаплоида произведених културом антера код самооплодних биљака

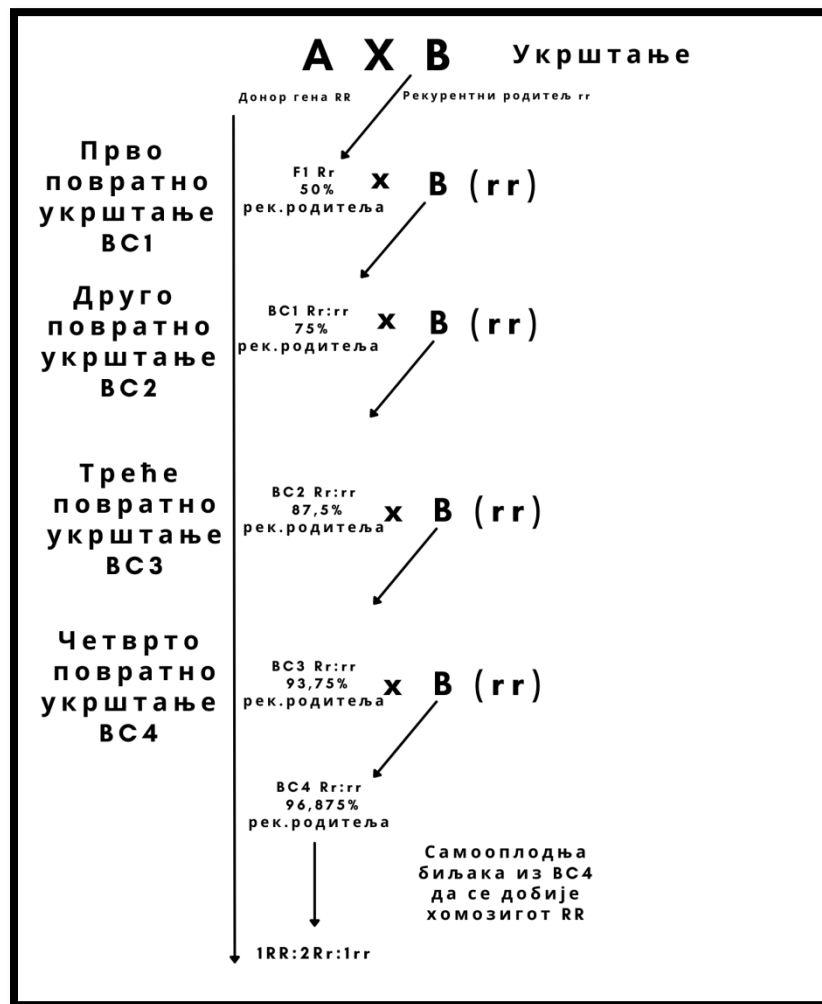
Извор: Ауторски цртеж, Младенов В, 2022.

*In vitro*¹ култура антера је најчешће коришћена технологија за производњу двоструких хаплоида и раније је само она била у употреби. Примена ове технологије омогућава добијање хомозиготних чистих линија из хетерозиготног оплемењивачког материјала у једној генерацији. До удвостручавања броја хромозома може да дође и употребе колхицина и анти-митотичких хемикалија у раним фазама културе антера или третманом потапања корена у колхицин. Након почетних укрштања у првој генерацији долази до стварања 2000-3000 хаплоидних биљака путем култура антера. У следећој генерацији F₂ је потребно удвостручити број хромозома третманом колхицином и посејати

¹ У преводу са латинског “унутар стакла” представља (експериментални метод који се одваја у лабораторији) где се користе компоненте организма изоловане из њиховог биолошког контекста да би се омогућила неометана подеснија анализа, што би било тешко или немогуће да се оствари са целом биљком.

семе тих биљака. У трећој генерацији је неопходно пратити раздвајања и вршити одабир најбољих редова. Исти поступак се понавља у следећој генерацији и само жељене биљке се сеју у редове. Пета генерација је резервисана за прелиминарне огледе и тестирања на принос, као и поређења са сортама стандардима. Након тога се приступа пољским огледима у понављањима, при чему је неопходно најпре радити на једном локалитету, а касније спроводити мутилокацијске огледе, када направимо довољну количину семена на једном локалитету. Основна мана овог метода је висок проценат појаве албино биљака у потомству.

Повратно укрштање је измењени начин рекурентног укрштања у ком жељени алел замењује нежељени алел у биљци, односно генотипу од интереса. Класичан пример потребе за повратним укрштањем је када постоји прилагођена и високо приносна сорта којој недостаје жељени ген за толерантност према неком патогену. Након укрштања два генотипа од којих један садржи ген од интереса, а други не садржи тражени ген, F_1 генерацију поново укрштамо са родитељском компонентом која садржи ген (алел) од интереса. Из генерације у генерацију је неопходно одабирати биљке које садрже ген толерантности, што утврђујемо тестирањем потомства у лабораторијским условима и поново их укрштати са родитељем који поседује толерантност према патогену. Родитељ у који је ген од интереса унесен се назива рекурентни родитељ, док се други родитељ назива донор гена од интереса. Смисао повратног укрштања је задржати све добре особине које већ у производњи признати родитељ поседује и од родитеља који представља донор гена од интереса, узети само жељени алел толерантности (Слика 18).



Слика 18. Метод повратног укрштања код самооплодних биљака
Извор: Ауторски цртеж, Младенов В, 2022.

Број повратних укрштања се креће од два до пет, међутим постоје два различита пута уноса гена од интереса у зависности на који начин се он наслеђује. Повратно укрштање представља релативно лак посао оплемењивачу уколико се особина коју испољава ген од интереса наслеђује доминантно, који су на шеми приказани RR . Када је тај случај у питању након четвртог повратног укрштања 93,75% рекурентног родитеља је стабилно и усвојило је жељени алел. И у последњем повратном укрштању генотип ће бити хетерозиготан на особину толерантности Rr и мора бити подвргнут самооплодни да би постигао толерантност биљака према траженом патогену, односно RR . Уколико је у питању други случај, да је жељена особина условљена генима који се рецесивно наслеђују,

цела процедура захтева више времена и укрштања. Када се утврди да је жељена особина рецесивног карактера не може се описаним методом унети алел од интереса, јер се неће пренети у рекурентног родитеља, већ је потребно након првобитног укрштања гајити биљке у самооплодни у F_1 генерацији. Биљке друге генерације је неопходно тестирати и само оне које су толерантне на патоген од интереса укрштати са геном од интереса. Потомство тих биљака је и даље хетерозигот и нетолерантно према патогену, али биљке су много више у типу рекурентног родитеља. Након тога поново тестирамо биљке и одабирамо оне које носе толерантност, а у типу су жељене родитељске компоненте. Исти поступак се понавља док се не добије линија која је хомозиготна на тражену толерантност. Велика предност овог начина оплећењавања је што може да се ради са релативно малим бројем биљака, јер се испитивање врши у фитотронима. Код самооплодних биљака је ово често коришћени метод када је у питању толерантност према неком патогену и поготову када је она условљена доминантним ефектом или мајор генима. Већу примену овог метода ћемо додатно приказати код странооплодних биљака. Посебну пажњу **повратном укрштању уз помоћ маркерима помогнуте селекције** посвећују велике семенске куће, јер је, било да је реч о првом или другом типу наслеђивања, повратно укрштање знатно олакшано и убрзано. Примена молекуларних маркера у овој врсти укрштања је двојака јер може да помогне у опоравку генома рекурентног родитеља и да убрза пренос гена од интереса из родитељске компоненте коју сматрамо донором гена. Уз помоћ маркера ће се лакше извршити скрининг/преглед добијеног потомства и брже и ефикасније него у лабораторији или фитотрону добити информација који генотипови из потомства носе ген толерантности. Маркери могу бити коришћени и за обележавање гена који носе толерантност, ради касније контроле добијеног потомства и лакшег утврђивања које биљке из потомства садрже алеле од интереса. Посебан значај овде има и чињеница што је при повратним укрштањима могуће лакше извршити и инсерцију жељеног гена, с тим да ће такав генотип бити генетички модификован уколико се маркери искористе, не као обележивач жељене ДНК секвенце, већ се у рекурентног родитеља убаци ген толерантности из неке друге врсте.

4.2. Опелемењивање странооплодних биљака

Основна разлика у опелемењивању самооплодних биљака и странооплодних биљака је што се кроз селекцију странооплодњака увек тежи побољшавању популације, пре него побољшањем основа индивидуалне биљке. Бројни методи који су описани у претходном подпоглављу су примењиви и на странооплодне биљке, пре свега масовна селекција. Међутим, кључ је у специфичним методима који су погодни за развој популације. **Популација је велика група јединки исте врсте која насељава одређени екосистем и међу којима долази до међусобних репродуктивних односа, тиме и укрштања, односно размене гена.** Дакле, популација се одликује специфичном генетичком структуром и она представља основну јединицу еволуције. Применом метода хибридизације тежи се промени ефеката и генетичке структуре читаве популације биљака. Опелемењивач тежи да промени фреквенцију гена, тако да пожељни генотипови преовлађују у популацији. У том процесу доћи ће и до стварања нових генотипова. Важан аспект за опелемењивача је одржавање генетичке варијабилности унутар популације, не би ли сталним деловањем на фреквенцију гена дошло до будућих побољшања генотипа. За побољшање популације истраживачи крећу од почетних компоненти опелемењивања, сакупљања гермплазме, процена, праћења индивидуалних биљака, укрштања у свим могућим комбинацијама, као и стварања инбред линија. Код странооплодних биљака најчешћи је приступ цикличне селекције, односно **рекурентне фенотипске селекције.** Овај вид укрштања је развијен са наменом да се повећа фреквенција гена од интереса за жељене квалитативне особине. Поред рекурентне фенотипске селекције код странооплодњака користе се још пар метода попут: масовна селекције, селекције тестирања потомства, метод клип на ред, селекција у полусродству, селекција у пуном сродству, поликрос метод. Један од најједноставнијих метода је, као и код самооплодних биљака масовна селекција, која је заснована на коришћењу природних услова животне средине за промену алелне фреквенције у популацији која се опрашује. Нова популација се ствара унакрсним опрашивањем две различите постојеће популације отвореног опрашивања (интерпопулацијска селекција). Из обе популације ће бити одабране биљке

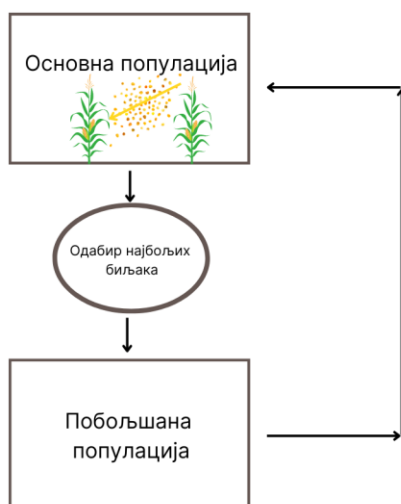
које ће се подрвгнути укрштању. Уобичајено је одабирати биљке из популације не би ли се направио репрезентативни узорак, односно не узимају се биљке случајним узорком. Начин на који ће се укрштати је избор истраживача, али може да буде класичним путем или сакупљањем масе полена и опрашивањем тог полена за оплодњу женских биљака друге популације.



Слика 19. Изолација генеративних органа кукуруза
Извор: Драган Кнежевић, KWS, 2022.

Неки оплећењивачи дозвољавају и насумична укрштања у овом делу процеса. Након тога семе из тих укрштања се гаји у пољским огледима током неколико вегетационих сезона. Теорија на којој је заснован овај приступ је да ће генотипови који су боље прилагођени и продуктивнији преовладати у популацији и да ће се равнотежа померити у њихову корист. Основни недостатак овог метода су агроеколошки услови. Померање и експресија гена жељених генотипова је условљена условима спољашње средине, јер над њима није могуће успоставити контролу. Стога је ово једна емпиријска метода, која захтева много знања, стручности, искуства, али и среће. Такође, природна селекција генотипова мора ићи у смеру који истраживач жели, зато је написано да је потребно и среће за успех у овом методу селекције. **Рекурентна фенотипска селекција** је умногоме ефективнија од претходно описаног метода оплећења. До нове, основне популације долази хибридизацијом између две или више популација. Велик број биљака се узима управо из основне популације и формира подзорак са најпожељнијим генотиповима, које могу да се и воде до краја као индивидуалне биљке. Чак и старија

литература препознаје овај метод као групно одабирање унутар масовног. Када семе одабраних биљака не мешамо зарад сетве следеће године, него се елитне биљке према сличностима својих особина сврставају у засебне групе, а затим се биљке индивидуално испитују у потомству зарад доношења оцена о њеној вредности. Модерна селекција предлага гајење одабраних биљака, дозвољава унакрсно укрштање и производњу семена за нову, побољшану популацију. Овај процес се понавља неколико пута, док је број циклуса одређен унапред задатим нивоом потребног побољшања у односу на основну популацију, почетне фреквенције алела основне популације, као и висине наследности особина од интереса за даљи ток оплећењевања.



Слика 20. Метод рекурентне фенотипске селекције
Извор: Ауторски цртеж, Младенов В, 2022.

Рекурентна фенотипска селекција је ефикасан метод оплећењевања биљака, али углавном када се селекција врши на особине које имају високу наследност, као што је отпорност на болести и штеточине. Нажалост, код особина које имају нижу херитабилност, као што је принос или неке од особина које одређују технолошки квалитет семена, овај метод није толико ефикасан. Оно што је препорука сваком оплећењивачу је да се узорак основне популације задржи и одржава, да би успешност селекције могла да се

процени и квантификује након одређеног времена. **Тестирање потомства** представља такође један од коришћених метода у селекцији странооплодних биљака. Оно представља модификацију рекурентне фенотипске селекције, на пример укрштање у полу-сродству и селекција у пуном сродству са тестером, као и селекцију из S_1 генерације. Заправо сви методи подразумевају одабир појединачних биљака из популације и самооплодњу са циљем да се произведе семе, од ког се део сеје за фенотипску оцену, а део се задржава за резерву. Након вегетације, када су фенотипске оцене доступне, остатак семена из потомства које се показало као супериорно се сеје као популација, да би се поново вршио одабир биљака и тако у круг.

Већу варијабилност материјала могу само да пруже удаљенија укрштања, стога је укрштање између хетеротичних група неопходно, не би ли се неговало ширење варијабилности. Кроз уџбеник може да се примети да свака селекција води ка сужавању генетичке варијабилности, а томе посебно доприносе модерни алати, попут геномске селекције или едитинга. Иако ће генотип који добијемо на тај начин да буде скоро идеалан, испитан и обележен са више десетина хиљада молекуларних маркера, опет је генетичка варијабилност таквог генотипа сужена, односно његова моћ комбиновања са другим организмима у будућности је смањена. Тиме реметимо равнотежу и сводимо варијабилност на сет гена који су изразито функционални у смислу сопствене експресије, али врло сужени и „стерилни“ у смислу комбинационих способности. Генетички материјал за кога оплемењивач тврди да је добар комбинатор заправо значи да поседује способност да у комбинацији са другом компонентом даје потомство боље и супериорније од бољег родитеља. Уколико то није тако, сам процес стварања новог организма није потребан. У пракси је чест случај код оплемењивања самооплодних биљака да се укрштањем две добре сорте не добије потомство боље од бољег родитеља, већ супротно. Као што ни свако укрштање инбред линија не даје хетерозис. Управо тај ефекат је изазван комбинационим способностима родитељског материјала. Оно што може да се тврди је да ће се фиксирани гени пренети у потомство, али не и какав ће бити принос или нека друга полигена особина. Стога, разликујемо две врсте комбинационих способности (КС):

- опште КС које представљају просечну вредност једног родитеља израчунату на основу његовог понашања у ранијим укрштањима и

- посебне КС које представља понашање родитеља X када се укрсти са родитељем Y.

Позната оплемењивачка формула која следи нам помаже да утврдимо вредност укрштања:

$$Mxy = OKSx + OKSy + PKSxy$$

Знање које нам је потребно да би дошли до информација наведених у формули заправо долази из претходних искустава. Напред је наведено да је оваква искуства најлакше стећи *диалелним укрштањима*, при чему ће број укрштања износити $n \times (n-1)$, јер сваку линију укрштамо са сваком доступно, осим саму са собом. Код биљних врста попут луцерке (која је странооплодњак), где је тешко вршити контролисана укрштања и где се чак и у семенској производњи предлажу мере за поспешивање оплодње, овај метод није од помоћи. Тада се примењује поликрос метод који подразумева сетву свих линија у случајном распореду. С обзиром да је странооплодна биљка у питању постоји вероватноћа да ће свака свака бити оплођена са сваком линијом. Тиме се губе подаци о родитељима и аутоматски, особине приписују самој линији која је створена, а она служи за претпоставке у вези са ОКС и ПКС.

До формирања хибрида странооплодних биљака, пре свега код кукуруза, долази **укрштањем две самооплодне инбред линије**. Организам који настане из оваквог укрштања је хибрид, односно F_1 генерација и поседује могућност да испољи хетерозис. Стварање инбред линија у оплемењивању кукуруза представља највећи део посла у оплемењивачком програму и то је централни део читавог посла. Стварање инбред линија је двојако и може да се врши на два начина:

- самооплодњом; метод који подразумева формирање самооплодних линија кроз генерације на пољу и
- метод двоструких хаплоида (ДХ), који укључује претходно описан метод.

Тек када оплемењивач има на располагању инбред линије у које је сигуран, може да приступи комбиновању истих, односно формирању хибрида.

Стварање самооплодних или инбред линија устаљеним путем код странооплодних биљака које подносе самооплодњу захтева временски период од 6+ година или

вегетационих сезона, заправо генерација. Из почетне популације долази до одабира индивидуалних билака које се потом сеју у посебан ред или парцелицу. Током читаве вегетације оплећењивач врши фенотипска опажања и врши одабир најбољих билака на којима се врши самооплодња. Семе билака из прве генерације самооплодње (S_0) се сеје по педигре методу у посебан ред. Код билака идуће генерације долази до раздвајања особина, јер су родитељи били хетерозиготи у највећем броју особина. Стога је S_1 генерација врло разнолика, али се и из ње врши одабир најбољих билака, док се остале одбацују. Наставља се са самооплодњом по педигре методи и у S_2 долази до уједначавања билака, односно до формирања линија.



Слика 21. Примери добре оплодње код производње стварања семена кукуруза на једном војвођанском имању у близини Апатина.
Извор: Младенов В, 2023.

Самооплодна странооплодна биљака доводи до опадања развоја биљака и за разлику од педигре метода код самооплодних биљака где из генерације у генерацију се добијају све боље и јаче биљке, овде је заправо обрнуто, са појашњењем да долази до уједначавања унутар потомства. Опадање толерантности на неке болести, дегенеративне промене и појаве стерилности су раније биле уобичајене у овим процесима. У S_3 долази до уједначености унутар једне линије и видљиве разлике у односу на друге линије. Наставља се са самооплодњом које се сеје по педигре методу и ефекат инбрединга све је више видљив. Након 6-7 генерација унутар самооплодне зауставља се негативни ефекат инбрединга и добијају се у коначници линије уједначене на већину особина, са преко 96% хомозиготности. У поређењу са почетним материјалом биљке су ниже и слабије развијене. У теорији је могуће извести бројне инбред линије из једног генетичког материјала, јер све зависи од личног фаворизовања оплећењивача, односно у већини случајева се одабир биљака врши према особинама које су у оку једног посматрача. Раније се описани метод увек користио код биљних врста које дају доста семена (попут кукуруза и сунцокрета), док су се код врста где је инкомпатибилност изражена користио ДХ метод.

У данашње време, стране компаније теже да од самог почетка користе *ДХ метод*, јер је процес добијања хомозигота неупоредиво бржи. Иако је потребно ангажовати велика средства, ни производња инбред линија током 6 или више генерација није бесплатна, те и она изискује финансије. Методом двоструких хаплоида дуплира се број хромозома и добија се чиста линија (хомозигот) у једној генерацији. Ово може да се постигне партеногенезом, културом антера, али и другим методама. Применом овог метода оплећењивачи могу да јасно испоље интересовање и фокус на жељене особине, као што су принос, толерантност на болести или повишене садржаје жељених нутријената. Употребом ДХ оплећењивачи могу брзо да развију линије, али и да одаберу особине од интереса, које су неопходне за даљи развој пољопривреде, али доприносе и сигурности у производњи хране. Производња инбред линија применом двоструких хаплоида у данашње време може да се подели у 4 кључна корака:

- Индукцију хаплоида ($F_1 \times$ индуктор)

- Идентификацију хаплоида у стадијуму семена (одабир хаплоидних зрна, слика 22)
- Дуплирање броја хромозома (третман корена или целе биљке, сетва хаплоидних зрна)
- Умножавање семена ДХ да би се добило семе за укрштање са тестером и за даљи рад у селекцији (добија се хомозигот).

Детаљнији поступак ДХ метода може да се прикаже на примеру стварања ових хибрида у селекцији кукуруза. Семе за рекомбинације се сеје у септембру у Јужној Америци или током лета у Европи. Неколико месеци касније током зиме у Европи се одвија први наведени корак - индукција. Други и трећи корак одвија се мају исте године. Током зиме која предстоји, до фебруара се заврши четврти корак. Долази до сетве материјала и на зиму идуће године линије су спремне за опцervације и даља укрштања. Поједностављено унутар једне године долази до извршења сва четири корака. У природи често дође до спонтаног стварања хаплоида, међутим то није довољно висока фреквенција да би оплећењивачки програм могао да се ослони на то. Међутим, као што је објашњено у претходном поглављу, ни у лабораторији такве јединке нису стабилне, односно врло су фрагилне. Највећи помак у оплећењивању кукуруза је дошао стварањем хаплоид индуктора, који су заправо подигли фреквенцију појаве хаплоида на бази генетичке конституције. Родитељске компоненте носе хаплоидни геном и очински хаплоид индуктор се заправо користи као мајчинска биљка и извор пожељне гермплазме за мушког родитеља. Тај индуктор у овим околностима резултира мутацијом на *ig1* гену (*indeterminate gametophyte*). До седамдесетих година прошлог века овај ген није био у употреби, односно није био таргетиран јер је индуковао хаплоиде у фреквенцији испод 2%. Међутим, променом начина манипулације је дошло до заокрета.

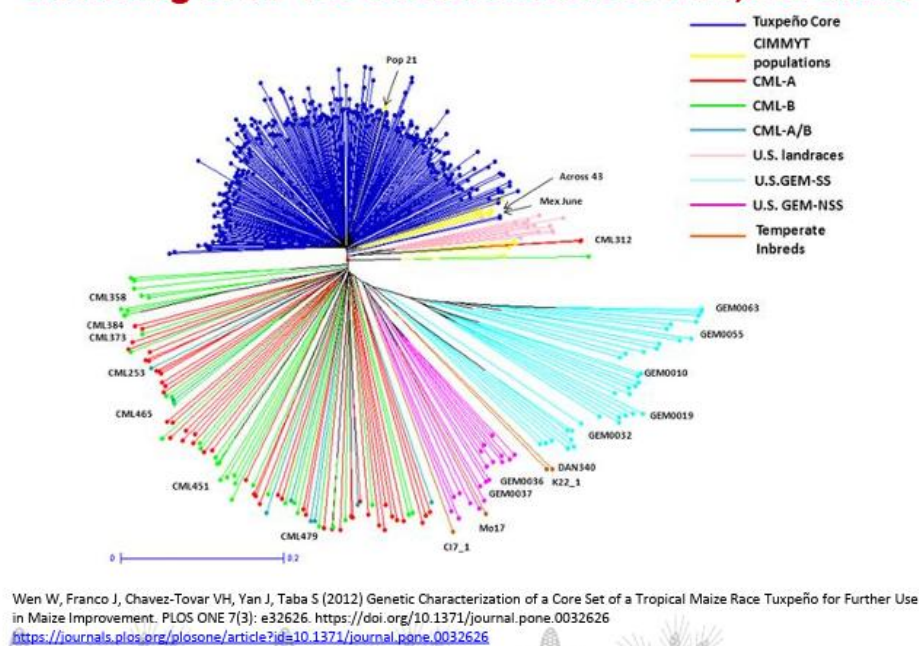


Слика 22. Хаплоидна зрна из програма стварања инбред линија (корак 2).
Извор: Драшковић Бојан KWS, 2023.

Хаплоиди су у основи стерилни, јер не долази до мејотичке деобе и то резултира нестварањем гамета. Међутим, број хромозома је неопходно удвостручити да би хомологи хромозоми могли да се упаре. Већина хаплоида (изнад 95%) код кукуруза даје потомство и нормалну биљку, када се на њу нанесе полен диплоида. Рестаурација фертилности је генерално у овој фази највећи проблем и може да се постигне вештачким удвостручавањем броја хромозома. Претходно је помињан колхицин, који након третирања поника доводи до антимитотичке активности и удвостручавања броја хромозома. Међутим, колхицин је токсичан и манипулација остацима представља проблем, те су бројне компаније у последње време изнашле алтернативе и за процес удвостручавања хромозома користе хербициде и/или азот-оксид (N_2O). Цео описани метод заправо се користи не би ли се проценат прецизности за касније кораке повећао. Употреба молекуларних маркера након овог поступка, геномска селекција или едитинг су заправо прецизније алатке које ће са већом сигурношћу утврдити везу особина маркер уколико је број хромозома удвостручен, а вероватноћа да је реч о хомозиготу готово 100%. Фиксирање гена у жељеним алелима је неупоредиво брже и процес селекције и стварања хибрида у коначници је испод 4 године. Из овог разлога свака компанија тежи примени ове технологије и ретки су примери компанија које не производе хибриде на овај начин. МПС која у оплемењивању кукуруза подразумева опотребу преко 30000 маркера за сваку линију „чисти“ све недостатке и везу особине и маркера доводи до апсолутне тачности.

Оно што је заједничко за оба начина стварања инбред линија, а касније хибрида укрштањем линија, је заправо тежња да они буду што различитији. Та тежња долази из чињенице коју су утврдили још први научењаци, а то је да укрштањем генетички удаљених индивидуа долази до ширења генетичке варијабилности, док нас сви каснији програми оплећења воде сужавању исте. Стога је одабир генетичког материјала из различитих, унапред идентификованих хетеротичних група у ствари неопходан. Материјал унутар исте хетеротичне групе не само што има сличне особине, већ има и сличне комбинационе способности и хетеротични одговор када се укрсти са сличном гермплазмом. Са друге стране одабиром родитеља из различитих група долази се до веће вероватноће да ће потомство имати виши хетерозис, а тиме и да ће доћи до стварања бољег хибрида. У овом делу Европе високо приносне *дент* линије, пореклом из САД-а су углавном укрштане са европским *флинт* линијама. Дент линије су углавном одабиране због своје раностасности.

Clustering of all 498 accessions based on 1,041 SNPs.



Слика 23. Приказ извора генетичког материјала наспрам идентификованих хетеротичних група на примеру троског кукуруза.

Извор: [CIMMYT](#), 2024.

Десетинама година уназад оплећењивачи пре свега кукуруза и сунцокрета теже да убрзају процесе стварања нових генотипова, али и умножавања семена, што ће резултирати смањењу потребних година за постизање хомозиготности. Изузетак је случај када је дошло до стварања инбред линија методом дихаплоида и где је хомозиготност постигнута, док сваки други вид укрштања, поготову конвенционални захтева скраћење времена. Стога је пре тридесетак година прихваћена пракса „зимских генерација“, која подразумева производњу семена материјала пожњевеног и одабраног за даљи рад у селекцији те године у нашим крајевима. На тај начин долази до „две жетве годишње“, односно скраћивања времена потребног за производњу и сваке године се уштеди још једна. Уз то линије се тестирају у другим агроеколошким условима, што је увек велики плус као што ће бити објашњено у неком од наредних поглавља уџбеника. Локације које оплећењивачи бирају су углавном Јужна Америка, јер се налази на супротној Земљиној полулопти од наше и летњи период наступа када је код нас зима, па отуд и име „зимска генерација“. Користан и врло употребљив метод за тестирање линија који је и даље присутан, како у домаћим, тако и у страним оплећењивачким кућама.



Слика 24. Зимска генерација у Чилеу
Извор: Драшковић Бојан, KWS, 2023.

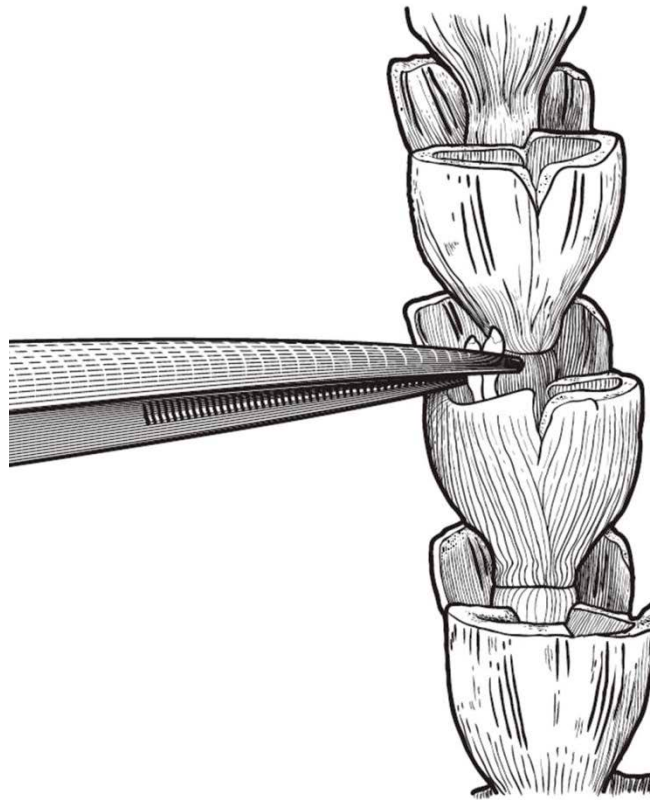
Основни проблем је финансијске природе, али и незаинтересованост радника ангажованих у тим подручјима. Данас постоје агенције и компаније које нуде услуге постављања огледа у овим крајевима, али треба истаћи да је за фенотипске оцене ипак неопходно присуство оплећењивача сваке године у контроли, на бар три кључне недеље.

4.3. Оплемењивачке технике и интеракција генотипа са спољашњом средином

Оплемењивач мора добро да познаје биљну врсту и генетички материјал на ком ради, пре него што почне са вештачким укрштањем. Врло брзо ће увидети да ли је укрштање успело, јер се у наредној генерацији испољавају особине одабраних родитеља. За технику укрштања је важно познавати грађу и особине цвета, њихове специфичности, као и потенцијалне сортне/хибридне карактеристике и специфичности. Такође, треба да зна начин на који се оплоди биљка и где су позиционирани полни органи, о чему је већ било речи у првом поглављу. Лан је као биљна врста дуго био сматран самооплодним биљком, да би се касније установило да постоји скоро 40% варијетета који су странооплодњаци. Такође, пшеница је самооплодна биљка, али постоји проценат око 4% где су биљке изложене странооплодњи. Ово све зависи и од сортне карактеристике, јер постоје сорте које отвореније цветају, те је странооплодна лакша. Но, ово су разлози због чега оплемењивач мора да познаје генетички материјал којим жели да манипулише. Задатак вештачке контроле укрштања је стварање нових генотипова који ће имати пожељне родитељске особине. Вештачко укрштање обухвата: кастрирање, изолацију, скупљање полена и опрашивање. При извођењу укрштања оплемењивач мора да поседује материјал и алатке неопходне за рад. Ту спадају: маказице, пинцете, игле, скалпел, четкице, суд за воду, лупе, водене шприцаљке, медицински алкохол, етикете, столице и омањи сто, конач, вата, платнене кесице, оловке и др. У зависности од биљне врсте се разликује и техника укрштања, а самим тим и неходна опрема. Вештачко укрштање, које се не одвија у природи, захтева специјализовану сетву материјала, која ће имати намену само да служи у техничком процесу укрштања. Сетва, односно шема таквих парцелица треба унапред да буде дизајнирана тако да оплемењивач и техничко особље имају доста простора да извршавају све потребне активности и операције, не би ли се комотно кретали око жељених индивидуа. У супротном, рад ће бити угрожен евентуалним ломљењем или кршењем биљака. Такође, препорука је да се овакве парцеле не сеју на местима где је ветар најјачи, већ на заветреним деловима, по могућству иза неког објекта, јер ће то бити од кључног значаја при укрштању и контролисаном опрашивању биљака. Многи оплемењивачи препоручују такође и сетву у посуде, поготову мајчинских биљака, да би се

пружила и контрола температуре у току цветања. Циљ укрштања је стварање новог генотипа који поседује особине које ће задовољити услове тржишта и региона у ком ће се гајити. Тај циљ може да се испуни само уколико позитивне и жељене особине једног или више родитеља успемо да планским укрштањем унесено у мајчинску биљку. Овај задатак није лак и подразумева низ различитих процеса, попут правилног одабира родитељског, почетног материјала, вештачког укрштања и одабир испитивање и умножавање семена. За други процес, који је од круцијалног значаја у конвенционалном оплемењивању, оплемењивач мора да поседује материјал и инструменте специјално дизајниране за извођење ових операција.

Од материјала и инструмената већина светских оплемењивача биљака користи маказице са правим и савијеним ножевима, пинцете, штипаљке, игле, скалпеле, ножиће, четкице за наношење полена, судове са водом, увеличавајућа стакла, водене шприцеве, етикете, столице и сточиће, платнене заклоне, конач или танке жице, штапове дуже од биљака, као и изолациони материјал који може бити платнена или папирна кесица (изолациона кућица). Главни задатак кесица и изолатора је да буду што пропустљивије за светлост и топлоту, као и што сигурније у погледу полена са нежељених прашника. Изолатор мора да буде довољно јак да издржи напад ветра, кишу и друге временске непогоде које могу да се јаве у току вегетације. Први потез у раду код вештачког укрштања подразумева уклањање свих сувишних биљних делова који у хибридизационом делу сметају. Тај део посла се назива редукција, јер се уклања све што је непотребно, као на пример осје, сувишно лишће, велики број цветова, као и стерилни цветови или органи. Редукција се изводи уз помоћ маказица, којима се одсеца све побројано што није потребно. Када се врши редукција код жита, посебну пажњу треба посветити плевицама и избегавању њиховог закидање, јер могу да утичу на то да се жиг тучка осуши и изгуби могућност опрашивања. Након редукције следи кастрација, која представља уклањање мушких полних органа.



Слика 25. Кастрација прашника пшенице

Извор: Зоран Свилар, 2019.

Без познавања биологије цвета и целе биљке ове операције није могуће правилно извести, стога је неопходно да ово раде искусни техничари. Мора се знати тачна позиција прашника, колико их има и колико треба одстранити, а колико оставити. Кастрирање се врши када су прашници потпуно зрели, односно када достигну жућкасто-зеленкасту боју. Зато је потребно свакодневно обилазити усев, јер се са овом операцијом не сме каснити. Кастрирање је најбоље вршити ујутру или касно послеподне. Пре кастрирања није лоше поставити заклон, да други класови или ветар не би стварали проблеме. Након кастрације неопходно је такав цвет заштитити неким од набројаних изолатора. Један до три дана касније потребно је извршити оплодњу. Наравно, овај период може да буде дужи, уколико се прашници одстрани раније, док су још зелени. Да би се изолована биљка опрашила поленом који желимо и да бисмо на тај начин дириговали читаву оплодњу, најпре морамо да имамо полена у довољној количини. За вештачка опрашивања се користи потпуно зрео

полен. Наношење полена може да се врши четкицом, гњечењем зрелих прашника, стављањем класова под исти изолатор, кутијице, шоље, помоћу пера за писање и сл. Чест случај је и већ поменути заједнички изолатор и тај пример је детаљно приказан у практикуму из оплемењивања биљака, када се у току парне изолације очева биљка са зрелим прашницима ставља у изолатор у ком се налази кастрирана мајчинска биљка.

Досадашњи део овог подпоглавља је био техничке природе, но важна ствар у одређивању будућег генотипа и изгледа биљке, односно његовог фенотипа, нису само примењене технике. У најширем смислу, фенотип представља суму генотипа и утицаја еколошких фактора, касније у поглављу зване спољашње средине. Фенотипска анализа или како се савремено назива фенотипизација, је основ поступка оплемењивања. Генотипизација јесте важна за оплемењивача, али без анализе фенотипске варијације, која обједињује утицај генетичког основа и деловања чинилаца спољне средине, оплемењивач тешко може да донесе закључке који ће, у коначном резултату, да га доведу до нове генетичке варијабилности - нове сорте. Фенотипизација износи не само индивидуалну реакцију генотипа на варијацију агроколошких услова, већ даје и здружени одговор на нивоу популације на ове промене. На овај начин се омогућава правилан избор, односно селекција, генотипова насталих као последица рекомбинације родитељских гена, а у складу са постављеним циљевима и селекционим критеријумима поступка оплемењивања. Правилном фенотипизацијом се добијају нови, што стабилнији генотипови (сорте), пожељних средњих вредности особина, које су основни селекциони критеријум у оплемењивању. Поред тога, могу да се издвоје фенотипски маркери, који могу да буду од користи за избор генотипова и одговарају постављеном идеотипу биљке, у раним генерацијама потомства. Међутим, од огромног значаја након огледа у коме испитујемо линије је њихова статистичка анализа, јер управо она рашчлањује шта је у којој мери допринело да биљка оствари ту вредност. Једна од најједноставнијих, али опет изузетно примењивих статистичких одговора је анализа варијансе која у одређеној мери дефинише и квантификује изворе варијације на утицај генотипа, утицај спољашње средине, њихову међусобну интеракцију и грешку, унутар које се налази и мали део агрономски необјашњиве варијансе. Утицај генотипа заправо представља у којој мери се испољио генетички потенцијал те биљке у особини која се анализује. Када бисмо тестирали једну сорту или линију у више различитих експеримената она би остварила различите

вредности, што указује на то да је то варијабилне природе и да њена експресија зависи од тога колико јој погодују услови спољашње средине и да ли је било ограничавајућих абиотичких и биотичких фактора. Утицај спољашње средине је заправо утицај многих фактора који делују на развој биљке у предвегетационом и вегетационом периоду. Укључујући ту бројне изворе варијације, попут влаге, суше, количине падавина, квалитета и структуре земљишта, хемијских особина земљишта, микроклимата, напада патогена и штеточина, године, локалитета и многих других. Важан фактор у оплемењивању, са којим ће се постдипломци много више сусретати од студената основних студија је интеракција генотипа са спољашњом средином, често приказана као G×E интеракција, где слово G представља генотип, а слово E спољашњу средину (енг. *environment*). Ова интеракција, односно међусобни однос два важна фактора представља основ конвенционалног начина оплемењивања и рашчлањивање унутрашњих делова интеракције је могуће извршити једино мултиваријационим анализама, који не представљају ту суму у укупној варијанси као анализа варијанса. Да би студент боље или лакше разумео треба да зна да се укупно варирање неке особине означава укупном варијансом, коју је анализом варијансе могуће разложити на варијансу генотипа, спољашње средине и њихове међусобне интеракције (уз грешку и остало што се не разматра на овом нивоу студија). Те интеракцијске вредности су разложиве на мање варијансе, али другим статистичким анализама.

4.4. Оплемењивање на принос и генетички одговор на селекцију

Кроз уџбеник студенти су имали прилике да виде да је могуће вршити одабир родитеља, као и касније процесе оплемењивања према жељеним особинама, односно вршити стварање сорти и хибрида у смеру у ком истраживач жели. Принос је комплексна особина, која је садржана од бројних компоненти и стога увећавањем и побољшавањем сваки од тих компоненти, углавном се делује на принос. Укупна вредност агрономског приноса се изражава у тонама производа по хектару и то представља принос у ширем смислу. Међутим, постоји и принос у ужем смислу, попут приноса одређених особина технолошког квалитета, приноса протеина, уља и сл. Принос као особина није условљен

малим бројем гена, већ је потребно уложити велик рад у слагање генотипа и његових особина у један компактан, функционалан и исплатив организам. Полигени регулишу већину особина које улазе у компоненте приноса, те је један од најбољих начина заправо генска пирамида, која ће бити објашњена у следећем поглављу уџбеника. Познавање компоненти фенотипске варијабилности доприноси разумевању појма херитабилност, који се објашњава као мера или коефицијент наследности и у најширем смислу може да покаже у којој мери потомство личи на своје родитеље, а у којој мери анализована особина зависи од дејства чинилаца спољне средине. Анализом квалитативних особина (боја, облик и сл.) које су условљене радом јаких, мајор гена и које су мање зависне од фактора спољне средине, вредност овог параметра је виша у односу на квантитавне (метричке) особине (дужина класа пшенице, број зрна у клипу кукуруза и сл.). Ова група особина се испољава захваљујући раду минор гена, који имају слаб појединачан ефекат, те да би испољили своје дејство мора да их буде више, па се из тог разлога још називају и полигени. Херитабилност се обележава симболом h^2 или H и може да има вредност од 0 до 1, односно од 0 до 100%. Овај показатељ наследности се изражава у ширем или у ужем смислу, у зависности који део генотипске варијабилности се сагледава у односу на укупну варијабилност F_2 генерације. Херитабилност у ширем смислу представља удео генотипске варијансе у укупној фенотипској варијабилности F_2 генерације. Херитабилност у ужем смислу представља удео адитивне варијансе, која има највећи утицај на варијацију генотипа, у укупној фенотипској варијабилности F_2 генерације. Израчунавање овог коефицијента, олакшава процену о наслеђивању особине, односно доприноси испуњењу оплећењивачког циља. Генерални проблем стварања генотипова је што без обзира на коришћење маркерима помогнуте селекције, он дуго траје. Стога је питање када и у којој генерацији раздвајања започети селекцију на принос, као и које селекционе критеријуме издвојити. Аутор уџбеника истински сматра да је најважнији селекциони критеријум заправо повећавање притиска на принос преко компоненти приноса, као и принос *per se*. Главне компоненте приноса биљака чији је коначан исход зрно су број биљака по јединици површине, број зрна по биљци и апсолутна маса зрна. Деловањем и повећавањем селекционог притиска на ове особине, мора доћи до укупног скока у приносу, с обзиром да су све особине у корелацији. Велики проблем настаје због негативне корелације масе зрна и броја зрна по биљци и зато је то природна препрека која мора бити заобиђена у процесу

оплећењивања, односно у еквилибријуму који ће бити створен између те две особине. Други приступ је мерење самог приноса одабране биљке, односно принос *per se*. Успех у стварању оваквог генотипа зависи од генерације у којој се врши селекција, на који начин се поступа са материјалом у генерацијама раздвајања и како се мери принос у простору и времену. Већ у другој генерацији може доћи до првих визуелних оцена и одабира биљака према типу биљке, толерантности према болестима, збијености класа, добром бокорењу или развоју кореновог система и почетних мерења осталих агрономских особина. Визуелни ефекат у првим генерацијама не уроди превише плодом, али је добро радити га због „тренирања“ оцене оплећењивача и стварања првих хипотеза. Постоје и различити начини како ове биљке могу да се сеју у простору, не би ли се лакше поредиле међусобно. Један од тих начина је хексагонални метод, који је предложио истраживач Фазеолис, где се око сваке биљке сеје у хексагон 6 осталих, па је поређење олакшано, због близине биљке, а са друге стране се одбацује утицај спољне средине, јер је на све биљке једнак унутар самог огледа. Ту се биљке одабирају по набројаним оценама особина и касније у трећу генерацију сеју по истом методу. Овај метод заснован је да различити генотипови у другој генерацији могу да дођу до изражаја само у одсуству конкуренције. Такође, оно што се заснива на објективним вредностима генотипа се процењује, док се одстрањује субјективни део. Поента сваког оплећењивања на принос је да се он мора мерити и квантификовати. С обзиром да је у оплећењивању увек препорука сејати и родитеље, одвојено од потомства, да би истраживач стално имао на оку да ли је потомство боље од родитеља - одабирају се само такве биљке и у следеће генерације се само оне сеју, уз родитељске компоненте. У том случају тешко је водити рачуна о другим параметрима, као на пример о приносу у ужем смислу. Особине попут приноса протеина, тачније високог садржаја протеина су увек у негативној корелацији са висином приноса биљке и стога није могуће „гурати“ и вршити селекционе притиске на дијаметрално различите ствари, већ се опредељивати за једну и бити унутар тог програма од одабира почетног материјала до краја. Код самооплодних биљака метод у смеси је најпогоднији за ову врсту оплећењивања, с обзиром да се метод индивидуалне селекције користи више за циљане особине. Тек од шесте генерације почиње право мерење приноса биљака и у касније генерације се сеју само биљке са приносом изнад просека. Код странооплодних биљака овај метод не може да се ради на исти начин, јер ми заправо радимо принос у F_1 генерацији

и сав улог стављамо у испољени хетерозис, а не приносе одвојених линија. Резултати вештачких укрштања код пшенице су показали да роднију сорту, треба користити као мајчинску увек када се ради оплећењивање на принос. Данашњи највиши приноси пшенице су незамисливи били пре 40-ак година. У години 2022. национални САД победници у просечном приноси са већих површина остварени су у држави Ајдахо и износе 15,5 т/ха, док су маскимални приноси на истом такмичењу те године у категорији кукуруза достигли 30 т/ха у сувом ратару.

Генетички одговор на селекцију или раније називана генетичка добит од селекције представља разлику између средње вредности одабраних генотипова и средње вредности родитеља. Генетичка добит од селекције зависи од три различита параметра: (k) је вредност која обухвата селекциону разлику између одабраних линија и почетних линија, односно проценат биљака који је одабран за заснивање следеће генерације. С обзиром да се изражава у процентима, углавном зависи од интензитета селекције, те се уколико одаберемо 1% биљака за сетву у следећу генерацију узима да је $k=1$, а уколико одаберемо 5% износи 2,06. Надаље, зависи од фенотипске стандардне девијације (σ_F) средње вредности особине на које се врши селекција. Наравно, као што је већ схваћено у даље процесе оплећењивања се одабира фенотип који је резултат деловања спољашње средине на генотип и њихове интеракције, да би могли да се разграниче појединачни ефекти мора се урадити анализа варијансе и израчунати коефицијент херитабилности (H), који је у ствари трећи параметар за израчунавање генетичке добити. Укратко, генетички одговор на селекцију или добит од селекције зависи од (k), (σ_F) и (H). Генетичка добит од селекције често се изражава у грамима по парцели, али је најважније да може да се израчуна и да оплећењивач има неку квантификацију свог рада. Селекциони притисак је проценат одабране популације за сетву у следећој генерацији. Тај проценат сме бити повећан само на основу резултата, јер се тиме указује да долази до помака у генетичком одговору. Код странооплодних биљака у данашње време је могуће вршити разне селекционе притиске много лакше и брже, уз модерне методе интензивирања селекције, двоструке хаплоиде, зимске генерације и геномску селекцију, те оплећењивачка једначина за генетичку добит изгледа мало савременије:

$$Rt = \frac{iro}{y}$$

При чему су коришћене математичке фразе:

R_t – генетичка добит од селекције у јединици времена

i - интензитет селекције (који је могуће интензивирати геномском селекцијом и предикцијама разних врста)

r - прецизност селекције (који зависи од квалитета и прецизности постављених огледа)

σ' - генетичка варијанса (на коју утиче укључивање и проширивање нове генетичке варијабилности на све приказане начине у уџбенику)

u - година или циклус (које је могуће убрзати методом двоструких хаплоида, зимским генерацијама у топлијим крајевима, фитотронима и сл.)

Све ово указује на сложеност оплећењивачког посла и објашњава колико је свака фаза, сваки детаљ, свака рандомизација и план важна од спровођења огледа, до статистичких анализа, јер се касније сви резултати сабирају у одлуку да ли ћемо наставити са интензификацијом неке линије или не.

5. ГЕРМПЛАЗМА, ЦИЉЕВИ И ПОЈАВЕ У ОПЛЕМЕЊИВАЊУ БИЉАКА

5.1. Генетички диверзитет и ресурси

У циљу проширивања оплећењивачке базе, једна од највећих вредности оплећењивачког центра су колекције које имају истраживачи у поседу, односно генетички ресурси. Генетички ресурси представљају шири појам од колекције и они су истражене и неистражене, нађене и ненађене форме истраживане биљне врсте унутар које се врши оплећењивање биљака. **Генетички диверзитет** представља основну јединицу диверзитета, која је одговорна за разлику на четири нивоа: унутар појединачних јединки, између различитих јединки исте локалне популације, између различитих популација исте врсте и између врста. Генетички диверзитет је важно дефинисати, као и детерминисати биљну врсту коју желимо да колекционишемо, идентификовати начин како ће врста бити сачувана, њену локацију где је пронађена, али и разлог због чега ће бити сачувана. Наиме, као и унутар оплећењивачког програма погрешно је затрпавати се материјалом, само зарад што веће колекције просечног материјала. Неопходно је идентификовати гене, односно особине од интереса који представљају основ даљег коришћења. Генетички диверзитет и ресурси су интензивно почели да се скупљају са Вавиловим експедицијама, а трају и дан данас. Након више од сто година прикупљања ресурса и различитих форми човек није још пронашао све које се срећу у природи, поготову на мање приступачним теренима. Од свих пронађених биљних врста, форма, варијетета, локалних популација теоретичари тврде да само тридесетак одржавају свет ситим. Најважнији пољопривредни усеви: пшеница, пиринч и кукуруз подмирују основне потребе за више од половине светског становништва. Стога је разумљиво што су и највећи новчани ресурси уложени управо у колекционисање ових биљних врста, чиме се осигурава сигурност производње за неко будуће време. Током 2021. године српски истраживачи су први пут у историји наше земље депоновали 96 најзначајнијих сорти пшенице, јечма, овса и ражи на Свалбарду у

Норвешкој, унутар пројекта *GRAINEFIT*. Унутар оплећењивачких програма је често коришћење сорти и линија које су настале као производ рада људи. Ти генотипови се користе у укрштањима јер имају познате посебне и опште комбинационе способности. Међутим, уколико оплећењивач нема на располагању гене од интереса унутар гајених сорти, један од начина превазилажења овог проблема лежи у генетичким ресурсима као што су локалне популације, али и други облици унутар биљне врсте. Локалне популације, које су настале у природи или су одржане у природи, због генетичког диверзитета које поседују представљају чест предмет конзервације. Веће варијације се срећу код биљака које су природни странооплодњаци, јер нема контроле опрашивања. На европском континенту, који је један од најнасељенијих на свету, је тешко изнаћи неке неистражене форме и тиме повећати генетички диверзитет. Захтеви за стандардизацијом траже примене метода оплећењивања који су описани у овом уџбенику, што онемогућује и легално гајење многих сорти и на тај начин долази до смањивања генетичке удаљености унутар њих. Чести су прикази у научним радовима, где се кластер методом указује на све суженију генетичку базу ратарских усева, али је сличан случај и код воћа.



Слика 26. Прародитељи банане који се чувају у страним генетичким колекцијама
Извор: [ЧилеБио](#), 2023.

Биљке и гени које оне носе унутар хромозома су основ генетичког диверзитета. Гени су ти који условљавају испољавање свих особина, међу којима су и одређене, пожељне агрономске особине које ће бити коришћене у укрштањима, зарад добијања нових генотипова. Посебна пажња оплемењивања је усмерена на толерантност према нападима одређених патогена. Сви биљни ресурси се одликују високом адаптабилношћу, уколико узмемо у обзир чињеницу да су опстали од времена од када су створени на овом свету. Поред толерантности на болести, нападе штеточина, ресурси представљају изворе гена за толерантност на абиотички стрес, попут ниских температура, високих температура, суше, висок садржај макромолекула, специфичан садржај уља и остало што је у циљу оплемењивања и стварања новог генотипа. За стварање и повећавање генетичких ресурса од важности је одржавање генетичке варијабилности која омогућава да се одржи стабилност пољопривредних усева на локалном, националном и светском нивоу; као и да се осигура опстанак генетичког диверзитета за могуће будуће лоше услове, као што је то учињено депоновањем генетичког материјала у Норвешкој. Дивљи сродници су посебан извор генетичке варијабилности унутар генетичких ресурса и представљају важне изворе гена по питању разних врста толерантности и отпорности. У оплемењивању парадајза су коришћени дивљи сродници као извори гена за отпорност на гљивична обољења. Без тих извора гена је тешко замислити модерне варијетете парадајза.

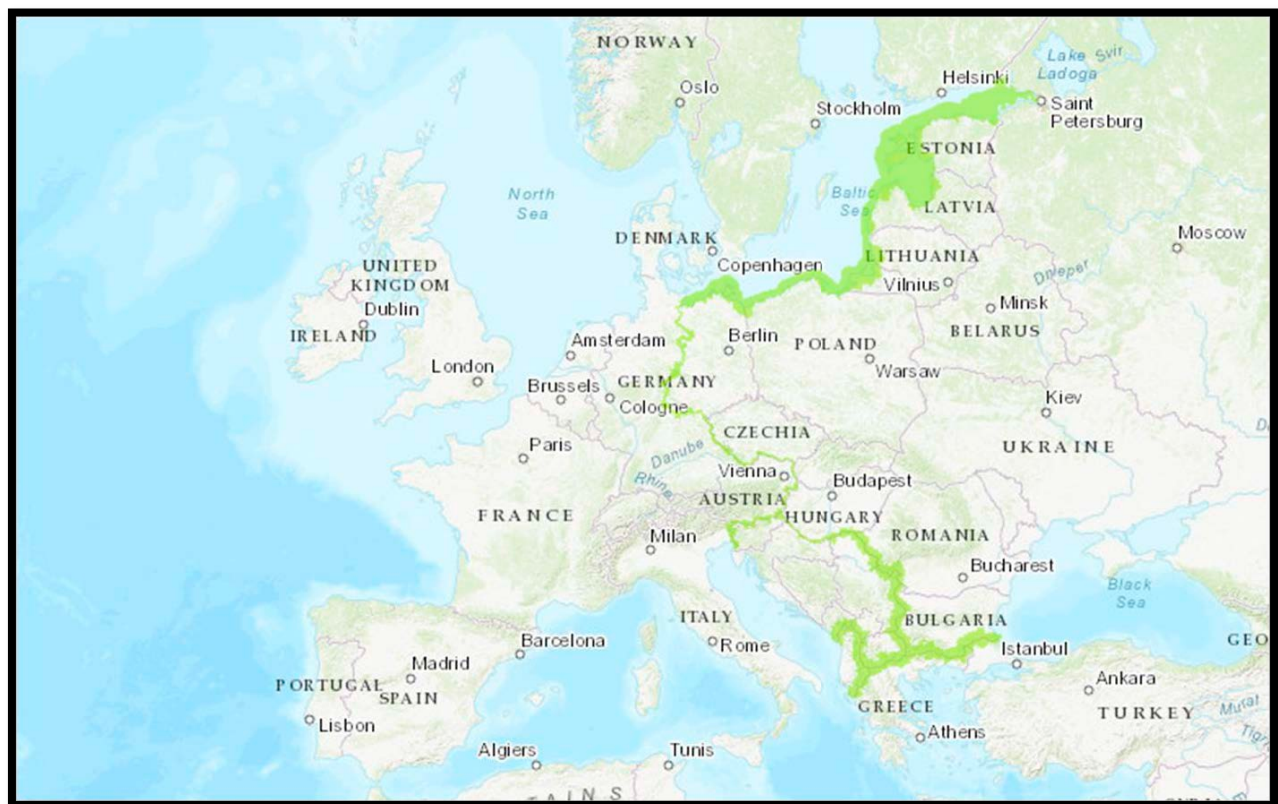
Једна од најозбиљнијих претњи модерном друштву и оплемењивању биљака је *генетичка ерозија*. Она представља губитак генетичког диверзитета, што укључује губитак гена, комбинације гена, алела или читавих сорти као носиоца генетичког материјала. Један од негативних утицаја на очување генетичких ресурса и промену у биодиверзитету је свакако и интензификација пољопривредне производње. Кроз историју је људска врста сведочила и подизала пољопривредну производњу од нивоа локалних башти до великих индустријских комбината са више десетина хиљада хектара, којима је једини циљ профит. Такав начин производње је донео и до промена услова где биљке обитавају. Велике површине у свету под наводњавањем, примена пестицида и хербицида је нарушила структуру земљишта, гажења и притисци који изазивају велике и тешке машине су такође томе допринели. Све ово сабрано је довело до измена у микробиолошком саставу земљишта и природној селекцији дивљих сродника локалних популација који су постали толерантни на примењиване пестициде.

5.2. Колекције и конзервација генетичког материјала

Биљна гермплазма је генетички материјал који може да се чува као оплећењивачки ресурс за развој нових сорти или хибрида. Гермплазма не укључује само семе, већ и остале делове биљке - попут листа, полена или делова од којих може да се узгоји одрасла индивидуа. Семена могу да потичу од старих или нових сорти, локалних популација, оплећењивачких линија које се користе за укрштање или специјалне генетичке резерве и творевине, као и мутиране линије за неке биљне врсте. Биљна гермплазма представља један од најважнијих природних ресурса и са њом се мора поступати адекватно како би могла да се користи за развој и унапређење постојећих генотипова. Бројни су теоретичари који кажу да ће будућност људске расе у зависити од сачуваних биљних ресурса. Иако су бројне ратарске врсте одомаћене и преведене у гајено стање одавно, њихови дивљи сродници убрзано пропадају индустријализацијом Планете. Разне варијанте локалних популација или семена који људи гаје на својим малим газдинствима су ништа друго него потомства старих сорти и дивљих сродника. Нажалост, уз индустријализацију је и оплећењивање биљака утицало у сужавању генетичке варијабилности, јер је само семе које је плански умножавано заправо дало потомство.

Што је оплећењивање биљака развијеније и процес селекције на вишем нивоу, то је генетичка варијабилност више сужена. Правилно поступање биљном гермплазмом је неопходно не би ли се осигурало будућност генотипова који могу да толеришу бројне абиотичке факторе, као и нападе болести. Један од најизраженијих примера напада патогена и великог уништавања усева под гајених биљкама је пример када је гљива фитофтора уништила огромне површине под кромпиром у Ирској. Овај напад болести није довео само до уништења усева, већ и миграције људи са острва која је настала услед проузроковане глади. Ово је само један од примера да је неопходно конзервисати и чувати генетичке ресурсе, не би ли смањили и утицали на рањивост усева на Земљи. Аутор уџбеника подсећа и упућује студента на прво поглавље, у ком су описани центри порекла гајених биљака на планети и свакако да је биодиверзитет и разноликост форми и

варијетета ратарских биљака највећа у геоцентрима порекла. Међутим, након много векова миграције људи, биљке су се одомаћиле у многим крајевима и стога је неопходно истражити много веће површине када се трага за генетичким ресурсима. Унутар Европе установљен је Европски зелени појас (*European Green Belt*) који је дефинисан од стране асоцијације истог имена и утврђује појас појачаног диверзитета гајених биљака који се протеже од севера Русије и Финске, преко Естоније, Литваније, севера Пољске, запада Немачке, југа Чешке, Словеније, Хрватске, преко истока Србије где се раздваја на два крака и обухвата југ Бугарске и део Северне Македоније и север Грчке (Слика 26).



Слика 27. Европски зелени појас

Извор: [ЕуроНатур](#), 2023.

Људска раса није у могућности да очува све генетичке ресурсе из разлога што би то захтевало неограничена материјална средстава. Материјал се складишти на -196°C у крио коморама, које нису доступне свима. Због тога се пажња посвећује комерцијално значајним биљним врстама. Нажалост, кроз историју је било много покушаја да се очува што више генетичких ресурса, али сведоци смо да је много биљних, али и животињских

врста истребљено и нестало кроз историју. У новије време, са развојем технике и технологије, дошло је до изолације ДНК одређених врста, замрзнутих у глечерима или под снежним покривачем, али таквих нема пуно. Један од највећих центара и ген банке на свету је свакако и центар „Вавилов“ у Санкт Петербургу (Научно-исследовательский и технологический институт оптического материаловедения Всероссийского научного центра “Государственный оптический институт им С.И.Вавилова,,). У њему је сачувано преко 250 000 врста, које су сакупљане током експедиције Вавилова и његових сарадника. Заштита ове колекције је стратешки најважнији подухват на свету, јер у случају пропасти света могло би да дође до поновног обнављања планете, уз помоћ ове колекције. Са друге стране океана, Сједињене Америчке Државе су уз помоћ државног програма у оквиру Америчког министарства пољопривреде (*USDA*), сакупиле, сачувале и заштитиле преко 460 000 врста ратарских, повртарских и украсних биљака. Током двадесетог века постојале су бројне акције сакупљања гермплазме и биљног материјала са циљем да се оснују овакви или слични центри, но због неадекватног чувања многи су пропали или им је понестало финансија да одржавају велике количине живог материјала. Почетком овог века ФАО организација је покренула мрежу за сакупљање и очување генетичких ресурса, заједно са већ поменутом организацијом CGIAR. Велика група земаља донатора биљног материјала, ДНК и осталих живих делова биљке, је у сарадњи са ФАО организацијом основала IBPGR (*International Board for Plant Genetic Resources*) представништво у Риму. Задатак ове организације је да развије и обелодани свеукупно стање конзервације генетичких ресурса и да координира напоре земаља да сачувају све биљне капацитете које поседују. У Лос Баљосу, на Филипинима, такође успешно послује ген банка са преко 80 000 биљних врста, сорти и варијетета пиринча. Познати центри широм света који поседују одређене колекције су још и: 1) CIMMYT у Мексику, са огромном колекцијом кукуруза, пшенице и тритикалеа; 2) ICRISAT у Патанчеру, Индији који колекционишу сирак, кикирики и грашак; 3) CIAT Кали, Колумбија чији задатак је тропско воће, пасуљ и друго; 4) ИТА у Нигерији за батат кромпир, сточни грашак и маниоку; 5) CIP у Перуу за кромпир и батат кромпир, као и 6) ICARDA у Сирији, центар за пшеницу, јечам и сочиво.

Један од највећих проблема у доношењу и колекционисању биљног материјала је свакако и контрола патогена који долазе заједно са биљним материјалом. Да би се смањила опасност од допремања патогена који можда и нису присутни са тлу неке земље, је

неопходно имати карантине и инспекције у оквиру заштите биљака при преносу материјала. У нашој земљи је ово регулисано поседовањем фитосанитетског уверења у здравственом стању биљке или семена. Ни у ком случају се ово не сме занемарити, јер то представља основну заштиту свих популација на пољима једне земље.

5.3. Инбридинг и хетерозис

Поред употребе генетичких ресурса у оплећењивању биљака, од стратешког значаја је и искоришћавање појава које се јављају у биљкама саме од себе или услед диригованог укрштања. Инбридинг или правилније инбридинг (енг. *inbreeding*) је систем оплодње у ком потомство настаје сједињавањем гамета сродних индивидуа, односно индивидуа које су у сродству ужем од просека сродства популације у којој оне живе. Ова појава не утиче на промену учесталости гена у популацији, али утиче на промену односа између хомозиготних и хетерозиготних индивидуа. Уколико у оплећењивачким програмима долази до примене инбридинга долази до смањивања степена хетерозиготности, док се алелни парови појединих генотипова преводе у хомозиготно стање. Коришћење инбридинга је од посебног значаја у фиксирању гена од интереса код особина које имају низак степен наслеђивања. У зависности од степена сродства разликују се:

- укрштање у ширем сродству
- укрштање у ужем сродству
- укрштање у најближем сродству /инцест/
- самооплодња

Суштина инбридинга је процес рашчлањивања генотипа на посебне чисте хомозиготне линије. Најефикаснији метод од набројаних за превођење у хомозиготно стање је самооплодња, која се користи и за стварање инбред линија код кукуруза и сунцокрета, док су остали системи мање ефикасни. Самооплодњом се хетерозиготи преведу у хомозиготно стање за пет генерација (0,969), док за десет генерација тај проценат буде 0,999. Овде је неопходно да студент направи разлику и да се врати на друго

поглавље у ком је утврђена разлика између самооплодних и странооплодних биљака. Наиме, самооплодњаци су биљке које се размножавају саме са собом, при чему то представља највиши степен инбридинга. Код њих не може да буде речи о штетним дејствима због ове појаве јер су оне прилагођене самооплодњи као једином и нормалном начину размножавања. Оне се налазе у хомозиготној равнотежи унутар једног генотипа, док након укрштања две индивидуе кроз више генерација постају чисте линије, односно потомства код којих су сви гени у хомозиготном стању. О ефекту инбридинга у оплећењивању биљака може да се говори само код странооплодних биљака. Ова појава је најизученија на примеру кукуруза, који је једнодома биљка са раздвојеним половима на истој индивидуи. Прашници се налазе у метличастим цвастима, док свила представља дугачке жигове тучака. Унутар оплећењивачких програма на кукурузу, након укрштања два генотипа неопходно је новонасталу индивидуу подвргнути самоопрашивању, односно самооплодњи на начин што се полен нанесе на свилу клипа исте биљке, при чему ће се на тој биљци образовати одређен број зрна. Тај број зрна у самооплодњи биће далеко мањи од броја зрна која се деси у нормалним условима оплодње, те је тако и принос семена линија увек нижи од приноса хибрида кукуруза. Када се зрна добијена самооплодњом посеју следеће године, добију се биљке прве самооплодне генерације. Када се на тој генерацији поново изврши самооплодња инбридинг депресија ће бити још јаче изражена. Тек након шест генерација у самооплодњи ова депресија се зауставља, када се постигне тачка звана *инбридни минимум*. Тада биљке кукуруза показују уједначеност у свим особинама, док између различитих линија које воде порекло од истог генотипа могу да постоје велике разлике.

Хетерозис или хибридна снага има посебно место у оплећењивању биљака. Иако је ефекат хетерозиса познат из древних времена, увек остаје простора за испитивање истог у научним експериментима широм света. Први је ову појаву објаснио Колројтер кроз огледе на укрштањима различитих генотипова дувана, иако је Шул био тај који је први дефинисао овај термин. Хетерозис је систем оплодње у ком потомство, односно хибриди, настају сједињавањем гамета индивидуа које међусобно нису сродне. Разлика између претходно описане појаве, инбридинга и хетерозиса је у степену сродства гамета који учествују у оплодњи, као и у последицама које настају из тог укрштања. Потомства инбридинга (инбреди) су обично инфериорне индивидуе у односу на потомство настало услед

хетерозиса (хибриди). Пре коришћења хетерозиса у научним програмима оплећењевања кукуруза, у производњи су се користиле искључиво сорте, које су имале значајно нижи принос од хибрида. Поред кукуруза, хетерозис се у конвенционалном оплећењевању користи и код сирка, сунцокрета, памука, дувана, конопље, лана, шећерне репе, кромпира, као и код низа повртарских усева попут парадајза, краставца и других. Бројни су хибриди повртарских биљака створени уз помоћ хетерозиса, пре свега јер испољавањем ове појаве долази до стварања много веће масе семена и тиме до умногостручавања репродуктивног материјала.



Слика 28. Ефекат хетерозиса код парадајза
Извор: [Cold Spring Harbor Lab](#), 2023.

Хетерозис као појава код кукуруза огледа се у односу на родитеље не само кроз виши принос, већ и кроз низ других агрономски важних особина, попут бржег клијања и ницања биљака, интензивнији развој корена, образовање виших биљака, образовање биљака са два или више клипова кукуруза, већа апсолутна маса, толерантност према болестима, инсектима и другим биотичким стресовима модерног времена. Коришћење хетерозиса код кукуруза подразумева низ корака, као што су: одабир материјала за селекцију, стварање инбред линије, тестирање линија на основу општих комбинационих способности и производњи хибридног, хетеротичног семена. Сам појам хетерозиса у агрономској пракси подразумева бујност F_1 генерације, односно када је та генерација боља

од бољег родитеља, а не од родитељског просека, како је то раније тумачено. Ова бујност се испољава само у F_1 генерацији. У каснијим генерацијама умножавања семена, овај пад је прилично нагао и неуравнотежен, те је стога принцип стварања хибрида заснован на сталном стварању новог семена прве генерације, што наравно погодује и семенским кућама. За објашњење генетичке природе хетерозиса се користе два различита система, при чему први своје утемељење налази у хипотези физиолошке стимулације, док је други везан за хипотезу доминантних везаних гена. Ове хипотезе се разликују у зависности од тога који вид интеракције наследних фактора се узима као главни механизам за тумачење појаве хетерозиса. Према првој тези, хибридна снага произилази из хетерозиготности као основе у великој различитости организама, односно интералелне интеракције, које условљавају доминација и супер доминација. Друга хипотеза полази од претпоставке да доминантни везани гени одређују позитивне агрономске особине, док рецесивни гени имају ефекат да их слабе. С обзиром да је већина особина која се испољи унутар хетерозиса условљена доминантним генима може да се закључи да је сама појава резултанта адитивног деловања позитивно делујућих доминантних гена, који у интеракцији доводе до испољавања хибридне снаге. Хетерозис представља стање максималне хетерозиготности, дакле што више алела треба да је у форми хетерозиготности, не би ли ефекат хетерозиса био већи, односно да један алел буде фиксиран у једној линији, а други у другој (Табела 3).

Табела 3. Шематски приказ стања хетерозиготности. Аутор Младенов В, 2022.

	<i>Прва сорта</i> <i>(генетичка конституција гамета)</i>	<i>Друга сорта</i> <i>(генетичка конституција гамета)</i>
	AbcDEfg	AbcdeFG
F ₁	AAbbccDdEeFFGg	
	<i>Прва сорта</i> <i>(генетичка конституција гамета)</i>	<i>Друга сорта</i> <i>(генетичка конституција гамета)</i>
	AbCdEFg	aBcDEfG
F ₁	AaBbCcDdEEffGg	

Као почетни материјал може да послужи што је могуће шира генетичка варијабилност, јер величина почетне популације заправо краси богатство оплећењивачког програма. Некада су се доста користиле локалне популације, домаће сорте и слично, док је данас свака линија јавно добро или након 17 година, када истекне период заштите у САД-у могу да се преузму уз новчану надокнаду. Неке линије је могуће купити на тржишту, неке се стичу разменом између оплећењивачких центара, али је важно да материјал буде што дивергентнији.

Стварање инбред линија је важан и компликован процес. Стварање и умножавање елитног материјала представља кључан процес, без ког не би било могуће створити и нове

хбриде. Код самооплодних биљака ово не представља никакав проблем, јер су све сорте већ хомозиготне линије (или би требало да буду). Не подносе све странооплодне биљке самооплодњу, јер је то највиши степен гајења у сродству. Временом, као и код људи, долази до инбридинг депресије, а некада и до неповољних појава. Но, оно што је неопходно извршити у овој фази производње хбрида је подвргнути биљке које смо одабрали из почетне популације, самооплодни у трајању до осам сезона (не нужно година, уколико имамо и зимске генерације). Семе сваке биљке се сеје у посебан ред. Током вегетације се врше фенотипска опажања и на одабраним биљкама се примењује самооплодња. Долази до изолације полних органа, при стварању линија се полни органи стављају у кесе, да не би долазило до странооплодње и да би цео процес био диригован. Семе биљака из прве генерације самооплодње се сеје по педигре методу у посебну парцелицу. У овој генерацији долази до раздвајања, јер су родитељи хетерозиготи. Само најслабија потомства се избацују, док се остала гаје и одвајају у посебне линије. Из године у годину је ефекат инбридинга све јачи, али и дегенеративне промене често не изостају. Из најбољих потомстава се одабирају најбоље биљке и сеју у следеће генерације. У трећој генерацији већ долази до уједначености и линије које смо одвојили почињу да се разликују међу собом. Надаље, стално се најбоље биљке сеју по педигре методу и подвргавају самооплодњи, док се не заустави негативни ефекат инбридинга, после 7-8 генерација. До тада је добијено неколико линија уједначених особина, које су много слабије развијене у односу на почетну популацију. Из године у годину је ефекат инбридинга све јачи, али и дегенеративне промене често не изостају. Из најбољих потомстава се одабирају најбоље биљке и сеју у следеће генерације. У трећој генерацији већ долази до уједначености и линије које смо одвојили почињу да се разликују међу собом. Надаље, стално се најбоље биљке сеју по педигре методу и подвргавају самооплодњи, док се не заустави негативни ефекат инбридинга, после 7-8 генерација. До тада је добијено неколико линија уједначених особина, које су много слабије развијене у односу на почетну популацију. Након овог процеса, линију је неопходно заштитити и може да се користи у производњи хбридног семена. У пракси код производње хбрида кукуруза, која је приказана на слици 29 долази до сетве одвојено очева и мајки. Односно, ред оца не мора нужно да буде један ред, јер многи данашњи хбриди имају једног оца, али сејаног у три различита рока сетве, не би ли се поспешила оплодња. С обзиром да је у семенској производњи јако важан моменат

оплодње, а да присутне климатске промене доводе до све виших температура почетком августа и неповољне влажности ваздуха, усељ је обавезно наводњавати, да би се осигурала неометана оплодња. Дакле, након сетве очеве компоненте, у производњи долази до сетве мајчинске компоненте, коју је могуће сејати у више редова. Обично се код нас сеје један ред оца (или на мањем међуредном размаку два, ретко три реда очева у различитим роковима, са размаком од пет дана између) и три реда мајке, јер једна биљка даје и до милион поленових зрна, па засигурно може да оплоди три реда мајке, ако не и више. Међутим, компаније које су тренутно на тржишту темеље становиште употребе неколико рокова сетви очева у томе да ће дужи временски период полен бити употребљив, па ће до оплодње засигурно доћи. Међутим, неопходно је спречити мајку да „праши“, односно да изврши оплодњу, те је стога најисплативија мера у производњи хибрида „уклањање метлица“. Постоје два начина како се то ради у производњи, механичку, уз помоћ платформи (кастрикса) и ручно. Ручни метод се код нас сматра поузданијим јер радници могу да уклоне метлицу без већих потешкоћа и тиме се осигурава оплодња жељеним поленом. Наравно, неопходно је да искусан агроном води ову производњу, јер кашњење од неколико дана, да не кажемо сати може бити погубно за признавање семенског усева.



Слика 29. Лево KWS платформа за механичко уклањање метлица, десно ручни кастрикс за мање парцеле.

Извор: Младенов В 2023; Крговић Сава KWS, 2023.

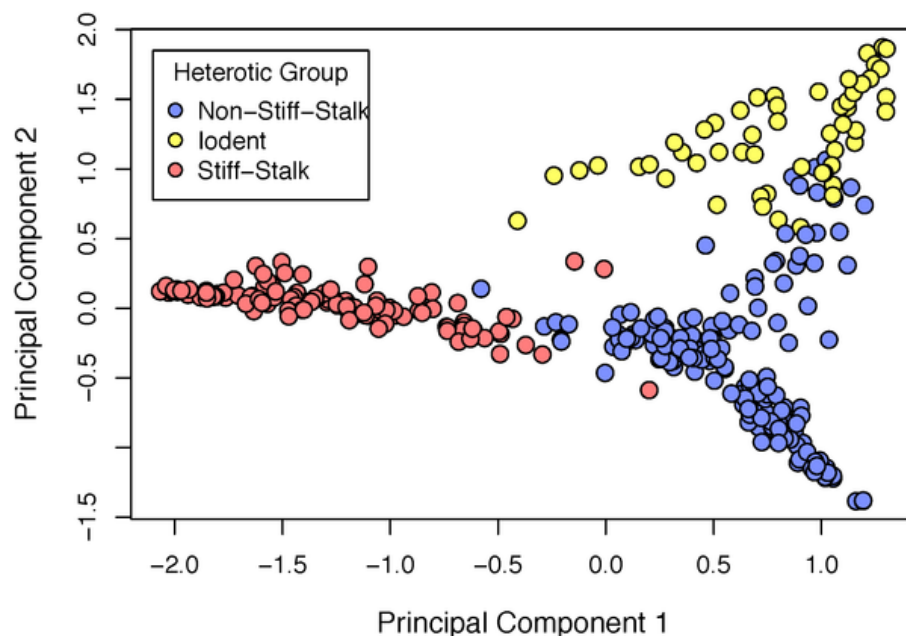
Коришћењем платформе у семенској производњи долази до уштеде рада, до оптимизације пословања и до много бржих резултата. Платформа има радни учинак од око 60 хектара у току дана и као таква представља данас незамењиву алатку у семенској производњи. Са десне стране је студентима приказан ручни кастрикс који такође служи за уклањање метлица код семенског кукуруза, међутим његов учинак је довољно добар за огледе и мање површине. Такође, може да се искористи и код „провоцирања“ оца да избаци метлицу до краја, када је већ дошло до свилања код мајчинске компоненте. Но, после оба метода пожељно је имати контролу „оком“ након неколико дана, када радници пролазећи кроз парцелу поправљају евентуалне недостатке кастрикса. У ову меру је важно испоштовати и законску просторну изолацију, која износи за производњу семена хибрида кукуруза 200 метара.



Слика 30. Поље семенског KWS кукуруза („Лучић аграр“ - Пригревица, Апатин)
Извор: Младенов, 2022.

Испитивање комбинационих способности је важан део при стварању хибрида, пре свега због тога што не доводи свако укрштање инбред линија до испољавања хетерозиса. Иако се проблеми и промашаји заобилазе правилним одабиром линија према хетеротичним групама, опет је важно испитати на који начин се линије комбинују. Да би се испитао већи број комбинација, препоручени метод за самооплодне биљке из претходних поглавља су диалелна укрштања, међутим овде би у великим програмима било исувише укрштања, што би захтевало превелики простор. Боља опција је уместо укрштања

сваке линије са сваком извршити укрштање са линијом за коју знамо да је добар комбинатор, односно применити заједнички *тестер*. Тестери су често веома добре инбред линије, од којих су многе већ родитељске компоненте признатих хибрида. Из укрштања са тестером оплећењивач брзо долази до општих комбинационих способности, али не и до посебних КС, за шта је неопходно да се укрсте две жељене родитељске компоненте. Инбред линије која оствари највише приносе се узимају за даљи ток селекције, док се у супротном одбацују. Један оплећењивачки програм нема само једну линију тестера, већ увек више њих. За одређивање посебних комбинационих способности, о којима студенти имају прилике да више прочитају у практикуму из оплећења биљака, је неопходно извршити диалелна укрштања. Производња хетеротичних хибрида подразумева производњу хибридног семена код биљних врста где је то могуће. Постоје биљне врсте где је то врло лако урадити, као што смо имали прилике да видимо на примеру кукуруза, али постоје и оне где је неопходно применити друге методе да бисмо дошли до хибридног семена. Код сунцокрета се мора унети цитоплазматска мушка стерилност, која је већ објашњена у једном од претходних поглавља. Код пшенице је неопходно применити хемијско индуковање стерилности итд.



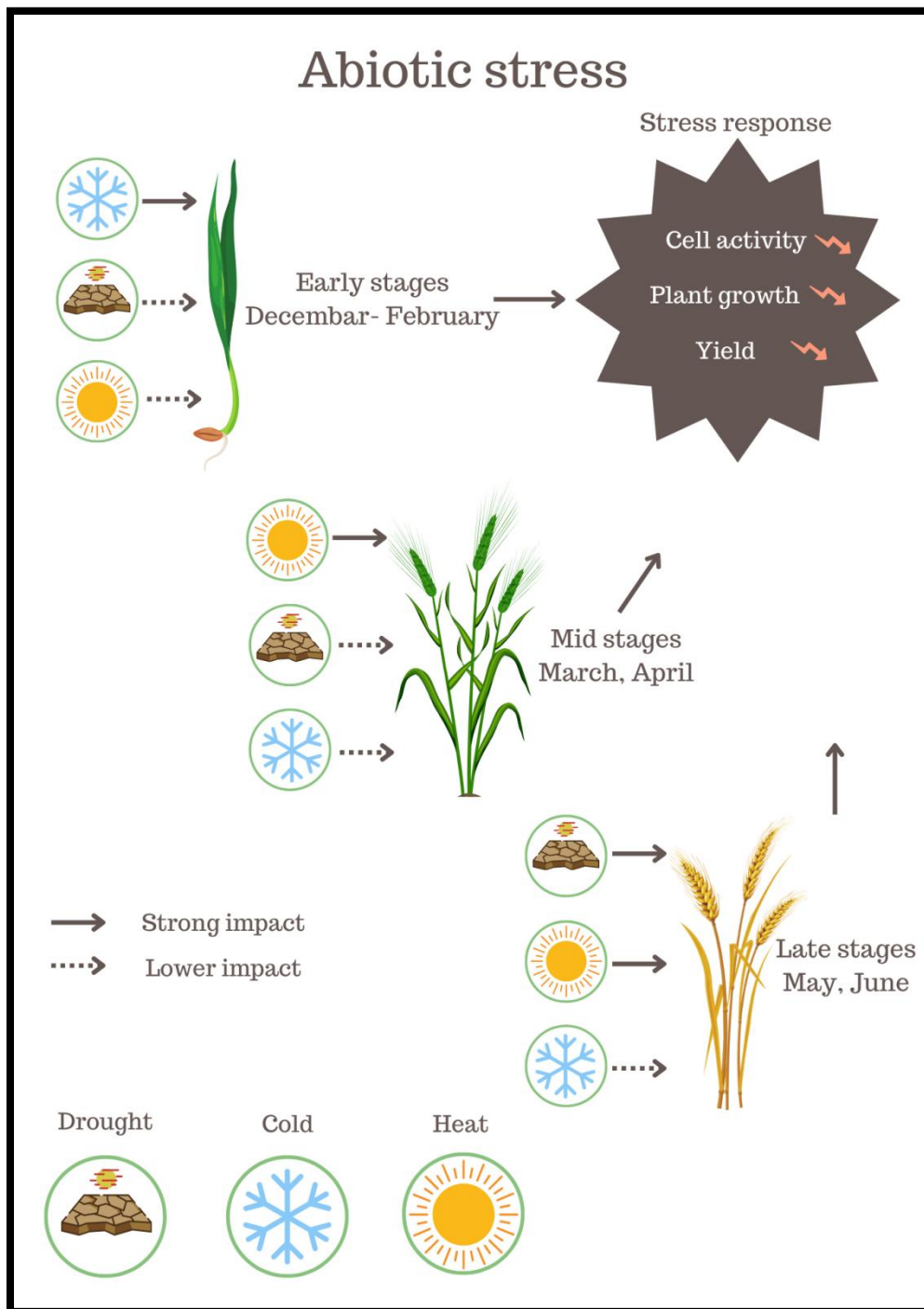
Слика 31. Хетеротичне групе код кукуруза

Извор: [Plos One](#), 2022.

На примеру кукуруза је објашњив лако и одабир линија које ће се укрштати, јер по Бекету сав расположив материјал може да се подели у 3 групе, у односу на чврстину стабљике. Хетерозис је у оплећењавању једна од највише употребљаваних појава, која иако доводи до инбрединг депресије и смањивања бујности самих линија које послуже као родитељске компоненте, дају изразито бујне хибриде који олакшавају и поспешују светску пољопривреду.

5.4. Оплећењивање биљака на толерантност према абиотичком и биотичком стресу

Варирање унутар сваке особине је кључ одговора биљке на разне врсте утицаја које су усмерене ка њој. Сваки оплећењивач на пољима које испитује идентификује изворе варијације, неопходне за евалуацију и анализу испитиваних особина. Наиме, варирање унутар неке особине може да буде вишеузрочно. Варирање зависи од генетичког фактора генотипа ког испитујемо, од утицаја спољашње средине, од њихове међусобне интеракције и од агрономски необјашњиве погрешке (која би требали да сведемо на што нижи праг). Унутар утицаја спољашње средине садржано је тако много фактора да се генерације генетичара баве разлагањем, али и до данас нису успели да идентификују све изворе варијације који утичу као одговор биљака. Оно што је сигурно је да се унутар тог фактора налазе и две важне врсте стреса, абиотички и биотички стрес, о којима су студенти већ имали прилике да уче на физиологији биљака. Основна разлика између ова два стреса је фактор који их изазива. Вегетациони чиниоци, а тиме и стресови се деле на абиотичке и биотичке, при чему су абиотички (неживи) они који су изазвани од стране климатских, земљишних и физиографских чинилаца; док су биотички (живи) биљке, животиње, микроорганизми, и човек. Но, циљеви оплећењивања се постављају само према једном или евентуалном неколико фактора, односно једној или пар толерантност на стресове. Најважнији абиотички стресови су приказани на слици 31, међутим велики напори оплећењивача биљака се улажу и у адаптацију нових генотипова на заслањена земљишта, поред набројане суше, високих и ниских температура.

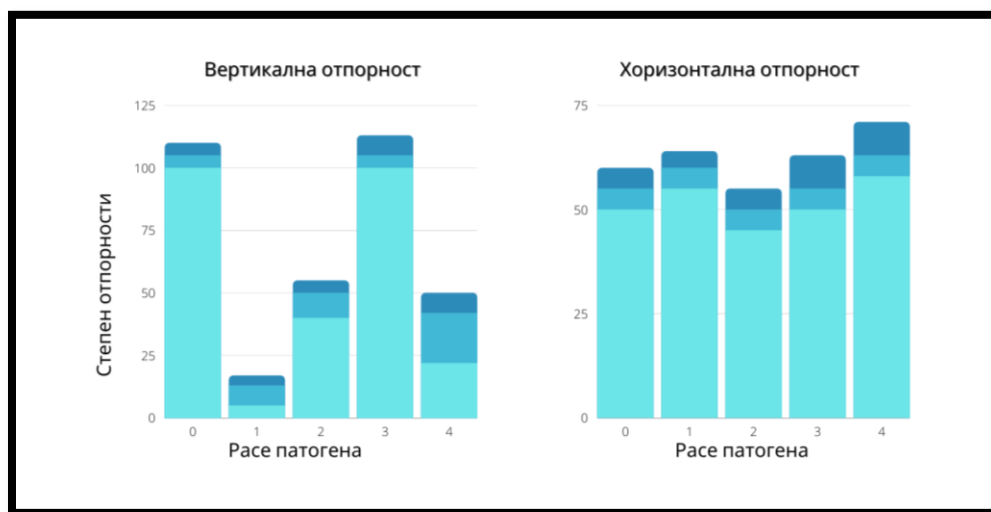


Слика 31. Одговор биљке пшенице у условима абиотичког стреса
Извор: Ауторски цртеж, Младенов В, 2022.

Биотички стрес представља све што долази од стране живог света и са тим највећу борбу воде оплећењивачи који се баве стварањем генотипова толерантним према нападима болести и штеточина. Генерални принцип је проналажење гена у дивљим сродницима или старим локалним популацијама и повратним укрштањем унос гена толерантности у већ формирану генотип, који ће на тај начин бити унапређен.

У зависности од неколико критеријума отпорност на нападе инсеката или патогена може да буде хоризонтална или вертикална. Ова подела је сачињена од стране Ван дер Планка и као таква стоји и до данас. За генотипове који имају *вертикалну* отпорности је карактеристично да се осетљивост на неки патоген искључиво заснива на ефекту мајор гена. Такав отпор у пољопривредној струци обично није трајног карактера, већ ће у будућности бити заобиђен од стране патогена и карактеристичан је за једну расу патогена. Вертикална отпорност или отпорност за једну расу патогена је обично олигогена, односно условљена или мајор генима или малим броја гена, док остали гени само у ограниченој мери модификују отпорност. Класични примери су *Sr* гени, одговорни за стабљичну рђу, затим *Lr* који условљавају отпорност на лисну рђу, као и *Pr* гени за пепелницу. Оваква врста толерантности је често потпуна, па представља отпорност и извор гена који могу да послуже у новим програмима, јер стварају имунитет против авирулентних патотипова. У могућности су да одложе почетак епидемије и контролишу специфичне расе или генотипове патогена и штеточина. Специфичност одређеног патотипа је најупечатљивија карактеристика овакве врсте отпорности јер су биљке осетљиве на неке врсте патогена, али су отпорне на друге изолате. Некротична тачка се обично јавља због реакције преосетљивости. Биљни генотипови који имају у себе унете мајор гене који условљавају експресију овакве врсте отпорности, уског спектра заштите од неког патогена су често рањиве када дође до промене популације патогена. Можда неће одмах подлећи нападу, међутим њихова борба са измењеним патогеном ће бити ограниченог века и овај проблем се брзо јави у монокултури. Селекционим притиском на патогене и сталним радом на уношењу гена отпорности је могуће створити биљне генотипове који ће бити од велике користи у производњи, с тим да је ово много погодније код једногодишњих биљака. Ова врста отпорности је погодна за ефикасна против локализованих патогена, као оних који се преносе кроз земљиште. Такође, оплећењавање биљака је увек олакшано када је жељена

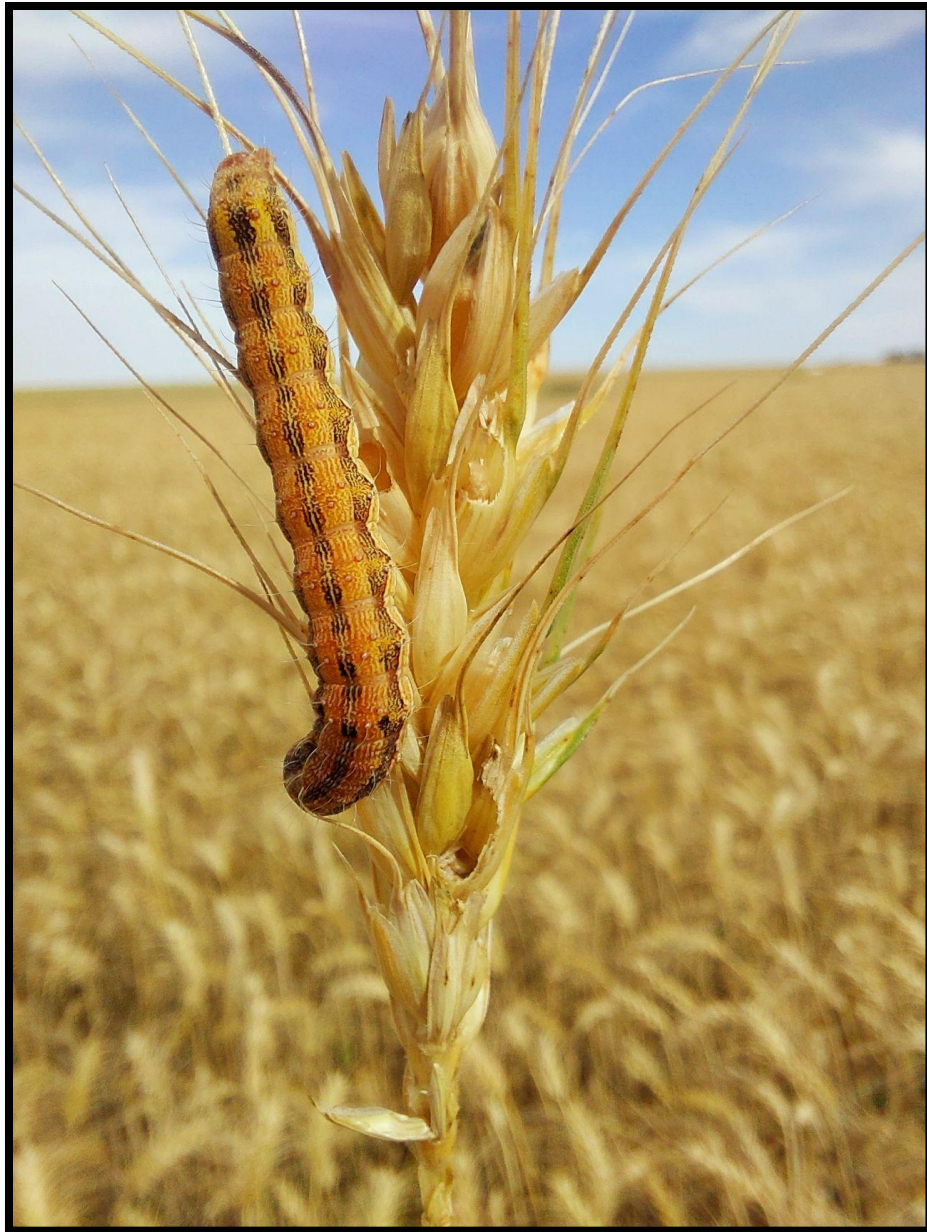
особина условљена мајор генима. *Хоризонтална* отпорност са друге стране је позната као делимична отпорност биљака према патогенима. Условљена је пре свега полигенима и већим бројем гена, па је њу много теже таргетирати у процесу оплемењивања и теже је усмерити селекциони притисак јер није комплетна. Међутим, када се гени који условљавају ову врсту отпорности унесу ефективна је на све расе патогена. Следећи почетно успостављање патогена биљка може да се одупре његовом ширењу и репродукцији, па значајно успорава епидемије.



Слика 32. Типови отпорности
Извор: Ауторски цртеж, Младенов В, 2022.

За разлику од вертикалног отпора не може лако да се изгуби услед мутација патогена и због тога се сматра значајно ефикаснијом. Као што је већ речено, условљена је полигено, односно са већим бројем минор гена. Управо због тога је и наслеђивање овакве врсте отпора много комплексније. Класични примери су фитофтора код кромпира или рђа код кукуруза. Није одређено који број гена је потребан да би биљка испољила хоризонталну отпорност, али отпорним генотипом се сматра сваки који је у стању да се у току своје вегетације избори са нападом патогена. Оплемењивање на полигене је теже јер многи минор гени не могу да се унесу у нову организам у мери коју бисмо желели или чак коју ми можемо да предвидимо или израчунамо, због високе дивергентности, али су и под

већим утицајем фактора спољашње средине, на које на отвореном пољу не можемо да утичемо.



Слика 33. Напад ларве совице на клас пшенице
Извор: *Интернет (линк непознат)*

У почетним фазама оплећењавања биљака, код успостављања циља у стратегији стварања новог генотипа, је од огромне важности и идентификација проблема са којим ће се генотип сусретати. Један од основних ограничавајућих фактора је сигурно напад

патогена или инсеката и стога је потребно на самом почетку мислити о генима толерантности или отпорности. Извор гена не морају да буду само старе сорте или прародитељи, већ и сорте и хибриди за које знамо да поседују неку од објашњене две врсте отпорности. Из угла оплемењивача, аутор уџбеника би истакао важност употребе већ створених генотипова у селекцијским програмима, јер признати генотипови имају нежељене особине већ сведене на минимум. Када се извор гена једном идентификује метод повратног укрштања се углавном користи за убацивање гена од интереса, односно рекурентна селекција код странооплодних биљака. Новији метод вредан пажње је *генска пирамида*, који за циљ има слагање више гена од интереса (*R*) у један генотип не би ли се комбиновале пожељне особине биотехнолошким методама или рекомбинантном ДНК у конвенционалном методу. Постоје иницијативе у оплемењивачким програмима за стварање генотипова који поседују гене за отпорност за многе патогене, попут програма на пиринчу и *Pi-1*, *Pi-2* и *Pi-3* генима. Такође, добар пример ове праксе је и код пшенице, са *Biotype L* отпорношћу према хесенској мушици (*Mayetiola destructor*).

Толерантност биљака на ниске температуре се испитује код озимих усева, јер у нашим, континенталним условима најниже температуре наступају у периоду од децембра до марта. Отпорност биљака на ниске температуре може да се испитује у (1) пољским условима (2) лабораторијским условима (3) комбинованим; односно пољско-лабораторијским условима. Озиме биљке попут пшенице могу да поднесу без оштећења краће време ниске температуре и до -20°C . Неповољан утицај температура испод нуле се своди на две основне појаве образовање леда у ћелијама и промена физичко-хемијских особина ћелијских мембрана. Када температура током зиме падне испод нула степени долази до замрзавања и стварања леда. Уколико се лед образује у унутрашњости ћелије долази до угинућа биљке, с обзиром да кристали леда изнутра повређују биљну ћелију и нарушавају унутрашњу структуру механичким притиском. Код генотипова који су отпорни на ниске температуре кристали леда се не стварају у унутрашњости ћелије, већ у међућелијским просторима, јер биљка својим механизмом потискује воду пре него што смрзне у тај простор. Оплемењивачка струка каже да генотипови који су толерантнији на ниске температуре и мраз су често и толерантнији и на сушу. Такве биљке садрже у себи мање количине воде и управо због тога се зими у њима ствара мања количина леда.

Испитивање отпорности биљака на ниске температуре у пољским условима врши се на четири различита начина:

- окуларни метод
- метод бројања измрзлих биљака
- метод испитивања у условима без снежног покривача
- Ауфхамеров метод

Први метод је окуларни и он је најједноставнији утврђени метод. Лако се изводи, не захтева додатну опрему, али захтева стручност оцењивача. Оцењивање степена измрзлости биљака се обавља одмах по изласку из зимског периода, утврђивањем броја измрзлих биљака и процента измрзлих листова. Приликом оцене мора да се обрати посебна пажња на стварну природу настанка штете на биљкама и листовима. Треба разликовати штету насталу од напада патогена и инсеката од штете које су проузроковале ниске температуре. У току оцене треба пажљиво испитати свако понављање унутар сваког генотипа и на крају израчунати средњу вредност. Окуларни метод подразумева рангирање штете на пет различитих степени: 0 када нема измрзлих листова; 1 када је 20% од укупне лисне масе измрзло; 2 када је 40% од укупне лисне масе измрзло; 3 када је 60% од укупне лисне масе измрзло; 4 када је 80% од укупне лисне масе измрзло и 5 када је 100% од укупне лисне масе измрзло. На исти начин и по истој скали се врши и оцена процента измрзлих биљака. Проценат оштећених листова и биљака исказује се одвојено за сваки генотип и упоређује се са најраспрострањенијом сортом за тај регион. Други метод је метод бројања измрзлих биљака. Овај метод даје сигурније податке од првог метода. По овом методу се биљке најпре пребројавају у јесен, дакле пред улазак у зиму, али и по изласку из зимског периода. Од велике је важности да се бројање врши на истим деловима парцеле. Односно, пребројавање биљака треба да се изврши унутар сваког понављања за одређени генотип. Уколико је парцелица дужине 2 метра, првих пола метра се остави као рубни ефекат и онда се постави метарски штап. Дуж штапа се преброји број биљака у јесен и исти поступак се понови и након зиме, у првим недељама пољских радова. Разлика између броја биљака које су ушле у зиму и биљака које су успешно савладале утицај ниских температура, се исказује у процентима и представља број измрзлих биљака. Уколико се испитивање врши у научне сврхе, могуће је поређење са другим сортама, углавном

генотиповима који су најраспрострањенији у том региону. Трећи метод је метод у условима без снежног покривача. У претходна два метода, број измрзлих биљака је одређен без икаквог ремећења нормалног живота биљака. Снежни покривач, који се током зиме, углавном формира на пољима, у великој мери штити усеве од измрзавања, јер се испод њега ствара микроклимат и он олакшава биљкама да поднесу ниске температуре. За овај метод је потребно поседовати дрвене рамове, који служе као поклопци и наносе се на одређена понављања када снег почне да пада или када се очекује. Површина ових огледних парцела је 1m^2 , како би се олакшала употреба дрвених поклопаца. Највећи проблем су падавине током ноћи, те је овај метод врло захтеван. Услови без снега су знатно суровији и са великом сигурношћу се добијају резултати да ли је нека линија отпорна на ниске температуре или не. Исто као и у претходном методу, биљке се пребројавају у реду пре уласка у зиму и након изласка из зимског периода. Овај метод је први пут употребљен 1961., када га је утемељио, разрадио, и користио др Тодор Мишић. Четврти метод је Ауфхамеров. Овај метод се изводи у отвореном пољу и захтева поседовање сандука величине $70\times 60\times 20\text{cm}$ за ускоредне усеве. Дрвени сандуци се пуне мешавином земље и песка. У сваки сандук се сеје генотип који желимо да испитамо у више понављања, уколико је могуће. Сандуци се стављају на ногаре, висине 1m . Издигнутост изнад земље осигурава најсуровије услове за биљку, јер је струјање ваздуха на тој висини веће него на земљи. Сандуци су заштићени крововима и током трајања снежних падавина се покривају, не би ли се додатно заштитили од снега. На тај начин држимо усеве без снега током целе зиме и излажемо штетним утицајима мраза. Ови услови су неупоредиво гори него услови у нормалним усевима и стога биљке које презиме представљају отпорне генотипове на ниске температуре и голомразице. У оваквој врсти огледа се пребројавају све биљке у реду у јесен и у пролеће и коначан резултат изражава се у процентима презимелих биљака.

Постоји велик број врло сличних метода који се користе и у пољско-лабораторијским услове. Ово је опис само неких од њих:

- метод монолита и модификовани метод Гаснера
- метод Јурјева

Први метод подразумева доста рада, јер је неопходно физички вадити делове земље (монолите) из огледног поља са биљкама које се касније излажу лабораторијским условима. Вађење монолита се ради 4 пута у току вегетације и у сваком вађењу треба да буде 15-20 биљака. Након вађења монолити се уносе у хладњаче и излажу ниским температурама. Температура зависи од биљне врсте и њихове критичне тачке за измрзавање, но након одређеног времена на температурама испод нуле монолити се преносе у просторије на собну температуру. Пет дана касније броје се измрзле биљке и изражавају у процентима. Модификовани метод Гаснера је модификовани метод монолита. Разлика је у томе што се не вади тако велика површина земље, него биљке са мрвицама земље. Те биљке се најпре држе на 1-2°C, не би ли се раскалиле и онда се поново закале на температури до -5°C. Пет дана касније се излажу критичним тачкама. На крају се броје измрзле биљке и изражавају у процентима. Метод Јурјева је други метод којим може да се испита отпорност биљака у пољско-лабораторијским условима и у примени је широм Русије у оплемењивачким центрима. Сортни материјал се сеје истовремено у пољу и у саксије. У сандуке се посеје око 150 биљака ускоредног усева. По обављеној сетви, семе се покрива слојем земље и залива се сваког дана. До зимског периода усеви се закале и развију се. У том моменту степен развоја усева на парцели и у сандуцима је на сличном нивоу. Пред улазак у зимски период се стаје са заливањем и сандуци се уносе у покривене просторије. У тим просторијама се обезбеђује јака и стална промаја и усев се излаже условима без снежног покривача. У овим сандуцима долази до пропадања усева, јер су услови знатно суровији него у пољу. Измрзле биљке изражавају се у процентима у односу на укупан број биљака.

Метод испитивања отпорност биљака на ниске температуре у лабораторијским условима подразумева сетву биљака у сандуке напуњене мешавином земље и песка у лабораторији. Сандуци се углавном држе у стакларама, где има довољно светла, а при томе се настоји да се одржава ниска температура у пољу у току јесени. Три недеље након ницања, сандуци се излажу температури од 2°C у трајању од седам дана, а затим се преносе у просторије где је температура -5°C где бораве најмање пет дана. Затим се оглед излаже температури од око -10°C на пет дана и најзад се излажу критичној температури за биљну врсту. За пшеницу то је до -22°C у трајању од 24h до 48h. По истеку овог периода биљке се држе пет дана на температури од 0°C и након тога се преносе у добро осветљену

просторију на 10°C. После извесног времена се приступа оцени отпорности биљака на ниске температуре. Утврђује се проценат измрзлих биљака, као и оштећења лисне површине. Данас су у употреби све мање стакларе, а све више фитотрони. Фитотрони су затворене истраживачке собе, где је могуће пратити понашање биљака, њихову међусобну интеракцију и њихов одговор на све промене вештачких услова у виду влаге, температуре, осветљености и сл. На слици 34. је приказан пример изгледа такве собе.



Слика 34. Унутрашњост фитотрона
Извор: [Биотех](#), 2025.

На основу бокора и ширине листа код биљке пшенице је могуће донети прелиминарне закључке о отпорности неке линије или сорте на ниске температуре. Генотипови са полеглим бокором и ужим листовима имају редовно бољу отпорност на ниске температуре. Тај однос представља правилност која се често јавља, а тиме и корелацију између поменутих параметара.

Високе температуре, атмосферска и земљишна суша често у биљкама изазивају промене који су од значаја за продуктивност и опстанак. Стога је неопходно све генотипове из колекција тестирати и подвргавати на разне начине високим температурама и суши, који ће бити описани у уџбенику на овакву врсту стреса. Високе температуре утичу на физичко хемијске особине протоплазме. Изазивају њену коагулацију и дехидратацију и услед тога се инхибира струјање протоплазме, које је од највећег значаја

за преживљавање биљке. Толерантност биљака према суши зависи од морфолошких, структурних и физиолошких особина биљке, односно од способности да се прилагоде новонасталим ситуацијама без довољне количине воде. У будућности услед климатских промена чији смо сведоци, овај вид оплећењавања биљака ће бити од изузетног значаја. Поједина предвиђања истраживача са страних универзитета кажу да ће у нашем региону за педесет година бити могуће да се гаји јужно воће, док ће дрвенасти биљни свет који сада гајимо бити померен за гајење у северније регионе. Такође, за очекивати је и промена ратарских усева који ће моћи да се гаји, па је мања вероватноћа да ће у том будућем периоду гајење соје бити успешно, али и да би сунцокрет могла да постане стратешки важнија култура за нашу земљу. У погледу испитивања толерантност биљака на атмосферску и земљишну сушу се испитује у (1) пољским условима и (2) лабораторијским условима. Испитивање толерантности биљака на земљишну сушу у пољским условима врши се у неконтролисаним условима и методом сувог поља. Први метод се спроводи у регионима са мање падавина. Србија спада у земље семиаридног поднебља и количина падавина се смањује идући од запада ка истоку, те је најбоље одабрати огледне парцеле у близини Вршца, који годинама уназад има најмању количину падавина. Када се поставља оглед са намером испитивања толерантности на сушу свака промена на усевима се прати и бележи, укључујући ту већење, жутење и опадање листова...На овој врсти огледа се практикује одређивање прираста суве материје у временским интервалима од десетак дана. Овај метод даје добре резултате само у изразито сушним годинама и због тога је несигуран. Други метод, метод сувог поља захтева правилну парцелу, обично правоугаоног облика којој је онемогућен приступ атмосферским падавинама. Око ње се ископа канал дубине 70cm и ширине 30cm, како би се смањио доток воде са стране. Изнад сувог поља се налази конструкција преко које се навлачи церада када пада киша, а у неким деловима света се поставља и непокретни стаклени кров. У току трајања кише, церада се спушта кроз до земље, не би ли се смањио и доток влаге са стране. Током вегетације се прате све фенофазе, као и промене које се јављају услед недостатка падавина. Испитивање толерантности биљака на атмосферску сушу у лабораторијским условима врши се у фитотронима или у стакленим коморама. Ваздух се најпре хлади да би се ослободио водене паре и након тога се загрева, при чему релативна влажност ваздуха расте до нивоа карактеристичног за регион. Биљке се излажу овом методу када су најосетљивије, рецимо

у фази класања. Оне се наизменично постављају испред топлих и хладних струјања ваздуха и тестирају се у неколико фенофаза. Крајњи принос из комора и фитотрона се пореди са паралелено постављеним пољским микроогледом и доносе се закључци.

5.5 Закони популације

Иако закони популације нису појава у оплећењивању биљака, већ законитост која влада у већој или мањој популацији, заслужују да се спомену јер иако су биљке уређене својим начином оплодње на њих у самом пољу утичу и друге теже и закони. Оплећењивачки рад на почетку и пре Менделових закона јесте био заснован искључиво на начину размножавања биљака, међутим дошло се до сазнања да уколико више потомстава живе на одређеном простору и размењују свој генетички материјал, она стварају заједницу која зависи не само од начина оплодње, већ и од других индивидуа. Временом ће статистички модели да разлуче и појасне ово тумачење, те се већ у најпростијим издваја утицај генотипа, спољашње средине и њихове међусобне интеракције, али и агрономски необјашњива варијанса. Популација представља зависну заједницу организама која је смештена на одређеном локалитету и у којој се размењује генетички материјал слободном оплодњом. Свака популација може да се опише дистрибуцијом фенотипова, врло слично као што су студенти имали прилике да уче на статистици. Уколико је чини више различитих носиоца гена, односно генотипова, она може да се опише и фреквенцијом генотипова. Гени који се преносе из генерације у генерацију остају непромењени и предствалају континуитет популације. Међутим, поред оваквих генотипова постоје и они, код којих ће због слободне оплодње, доћи до промена. Ове законитости важе у великој популацији, односно у популацији од неколико хиљада индивидуа међу којима влада слободна оплодња. Генетичка веза између родитеља и потомака у популацији може бити константна јер фреквенција гена остаје непромењена. Ово дефинише Харди Вајнбергов закон који објашњава правило равнотеже у популацији, односно еквилибријум. У великој популацији, у условима слободне оплодње и фертилноности генотипова, фреквенција генотипа зависи од фреквенције гена у претходној популацији, а не од фреквенције

генотипова. Када дође до постављања популације и до дозвољене слободне оплодне унутар ње, фреквенција генотипова се стабилизује и умирује. Ова законитост важи при свакој почетној фреквенцији гена, јер је постигнут еквилибријум унутар популације. Он остаје стабилан све док не дође до промене у фреквенцији гена, која утиче на ремећење еквилибријумске теже. Бројни аутори ову врсту теже поистовећују и са физичким системима. Да би студентима било лакше да разумеју овај део уџбеника, замислите велики балон који је напуњен до пола водом. Када нека сила делује на тај балон, она ремети равнотежу и вода у балону почиње да се љуља. Међутим, после извесног времена, када престане деловање силе, стање почиње да се хармонизује и вода се стабилизује унутар свог система. Дакле, у великом систему (популацији) фреквенција гена и генотипова може да остане непромењена чак и генерацијама, уколико на њу не делује нека сила, односно у генетичком смислу три фактора: селекција, мутација или миграција.

Из велике популације настаје мала популација, односно за популацију је уобичајено да расте јер на почетку има мањи бројем индивидуа. Карактеристично за мањи број индивидуа је да носе само део генетичке варијабилности, јер је за укупну фенотипску варијабилност потребан већи узорак. Иако се често при стварању мање популације тежу узимању што дивергентнијег узорка, то једноставно фенотипски није могуће одредити. Мала популације представља узорак из велике популације који може да буде сачињен од свега неколико десетина индивидуа, до неколико стотина. Стога, је одступање од законитости које важе у великој популације такође велико. Из тог разлога малу популацију сматрамо нестабилном и у њој не може да се успостави ражнотежа. Код стварања малих популација најчешће долази до случајног одабира биљака, а то резултира последицом неједнаке фреквенције гена унутар нове популације. Унутар те групе се поједини гени након оплодне фиксирају, док се други елиминишу. На послетку долази до веће разлике унутар мале популације, јер долази до поларизације услед различитих фреквенција гена. Такву појаву називано случајно разилажење (енг. *random drift*). Правац у ком ће доћи до дрифта не може да се предвиди ни на један начин или формулом, јер је условљен претходно оплодњом, односно слободним укрштањем унутар узорка који је одабран случајним одабиром. Када у великој популацији нема селекције, миграције или мутације, правила остају непромењена и фреквенције гена остају непромењене кроз генерације. Као што је претходно наведено, ова правила не важе у малој популацији, јер еквилибријум не

може да се постигне док популација не постане велика. Ово резултира двојаким понашањем, односно реакцијом унутар мале популације:

- долази до разилажења поменуте популације на групе или линије (дрифт);
- долази до смањења генетичке варијабилности и повећања хомозиготности.

Иако је сасвим разумљиво да ће сваки оплећењивач тежити стварању мале популације, да би олакшао одабир биљака, али и простор који му је потребан за извођење огледа пре укрштања, препорука је стварање мале популације из што хомогенијих узорака. На тај начин неутралисаће се било какво померање у фреквенцији гена, које касније неће моћи да се контролише, односно гени неће моћи да се фиксирају.

6. ПРИМЕНА БИОТЕХНОЛОШКИХ МЕТОДА У ОПЛЕМЕЊИВАЊУ БИЉАКА

6.1. Основи културе антера

Агрономи су много ближи пољским огледима, него огледима у контролисаним условима, али са истраживачке тачке гледишта врло често је спровођење огледа у оваквим условима од велике важности. Примена методе културе ткива се често користи у научноистраживачком раду, али и у комерцијалном стварању нових генотипова. Као што је већ речено у претходним поглављима *in vitro* култура антера је најчешће коришћена технологија за производњу двоструких хаплоида. Примена ове технологије омогућава добијање хомозиготних чистих линија из хетерозиготног оплемењивачког материјала у једној генерацији. До удвостручавања броја хромозома може да дође и употребом колхицина и анти-митотичких хемикалија у раним фазама културе антера или третманом потапања корена. Постоје становишта и утемељења да је за ово одговорнија неправилна мејоза, јер нпр. деловање колхицином доведиће до тога да се прекину нити деобног вретена (у било којој деоби), али ако је мејоза и питању, изостаће правилно раздвајање хромозома у анафази I, а то значи да ће на крају у тетрадама и касније гаметогенезама да остане нередукован број хромозома. Замисао културе антера је стимулирати одређени део биљке на деобу ћелија и образовање калусног ткива. Калус је кохерентно и аморфно ткиво које настаје када се ћелије умножавају на начин који им није природан, односно изазван је. Формирање калусног ткива се догађа у случају повреде биљке или под дејством абиотичког или биотичког стреса. Под утицајем хемијских средстава мења се метаболизам ћелија које су мировале и он почиње да се дели. Основ гајења антера у култури је подлога, сачињена од полена, односно микроспоре које стварају вегетативне ћелије. Пластичност и тотипотентност су два биолошка термина који представљају суштину за разумевање културе антера. Када се ћелије гаје у стаклу оне испољавају висок ниво пластичности и тиме дозвољавају иницијацију ткива неког другог ткива. Затим долази до регенерације

организма, која се у природи јавља када дође до одстрањивања одређеног дела биљке. Ова појава је заправо тотипотентност и представља могућност ћелије да испољи генетички потенцијал за регенерацију читаве биљке. Култура ткива предвиђа употребу малих делова биљног ткива, који се гаје на хранљивим подлогама у стерилним условима. Употребом одговарајућих хранива биљке се наводе да у кратком временском периоду почну да расту и након додатака биљних хормона образују и коренов систем. Када дође до формирања кореновог система, нове биљке је неопходно пресадити у посуде са супстратом и гајити их на редован, уобичајен начин. Биљни материјал у овим условима је могуће гајити једино уколико се обезбеди права хранљива подлога специфичног састава, задовољена микро и макронутријентима, неопходним за раст и развиће биљака. Наука оплећењевање биљака је у сталној потрази за убрзавањем процеса и превођења нових индивидуа у хомозиготно стање и култура антера је била једна од првих лабораторијских метода који су коришћени унутар циклуса оплећењевање биљака. Усавршавање методе културе антера је довело до тога да је постала важна експериментална метода у једном моменту, јер је могуће произвести хомозиготну линију из гаметне ћелије. Међутим, по сведочењу бројних истраживача култура антера у програм селекције може да буде уврштена само из разлога са почетка овог поглавља, а то је ако обезбеди довољан број генетички стабилних дихаплоидних биљака. Техником хаплоида дошло је до стварања многих униформних линија и није мали број програма унапређен, мада је већи значај у самој анализи ћелија. Мана овог лабораторијског метода су заправо јер се у пољу регенерације и ембриогенезе јавља превисок постотак албино индивидуа. Велик недостатак је висока продукција биљака без хлорофила и степен албинизма, јер је то ограничавајући фактор и из тог разлога овај метод није свекоришћен у оплећењивачким програмима широм света, бар код ратарских усева.

6.2. Молекуларни маркери

Мишљење јавности, истраживачких кућа, као и приватних компанија је неподељено да је процес стварања нових генотипова неопходно знатно убрзати, како би могли да

одговоримо на промене захтева тржишта. Водеће светске семенске куће у приватном сектору су у потпуности посвећене селекцији уз помоћ маркера (Маркерима помогнута селекција - МПС). Овај вид селекције нам омогућава да се у великој мери ослободимо просечног материјала и да одабирамо само индивидуе које са сигурношћу од 100% поседују гене од интереса за даље коришћење. Конвенционални оплећењивачи користе МПС не да би скратили време потребно за стварање нове линије, јер они не доводе до брже хомозиготности, већ да у следећу генерацију преносе само материјал, односно линије за које су сигурни да поседују гене од интереса. Биотехнологија пружа 4 важне ствари при стварању нових генотипова:

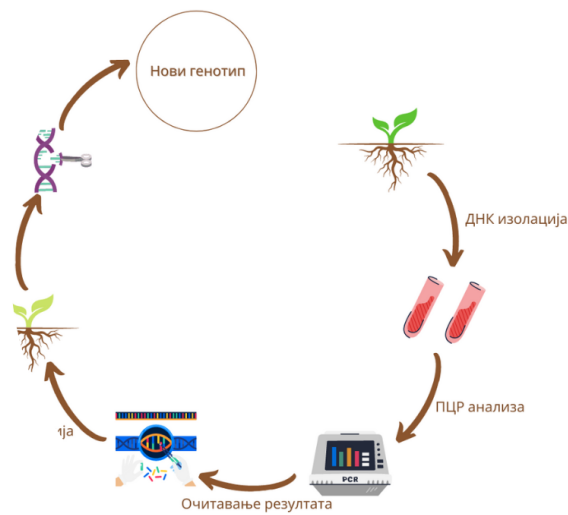
- идентификацију ДНК маркера који су у вези са пожељним особинама и генима од интереса;
- идентификацију локација гена одговорних за експресију особина од интереса;
- клонирање гена од интереса и
- инсерцију нових гена из других организама.

Начини на који биотехнологија пружа ове могућности су сваким даном у све већем броју и стога оно што буде написано у овом уџбенику ће бити застарело до његовог издавања. Но, аутор ће покушати да опише принципе на којима је употреба молекуларне генетике заснована у оплећењивању биљака и процесу одабира родитељских парова, фаза селекције и појединачног одабира биљака. Методе биотехнологије су веома значајне у процесу оплећењивања биљака, почевши од проучавања оплећењивачког материјала, утврђивања варијабилности, стварања генетски модификованих биљака до креирања нових линија и сорти. Маркери су показатељи генотипа који омогућавају да се јединка или популација разликује од других. Молекуларни маркери могу бити: генетички и биохемијски. Биохемијски маркери могу бити угљенохидратни, протеински, липидни и други, а зависе од врсте биохемијске реакције која се одвија у организму. Генетички маркери показују карактеристике ДНК и РНК, односно карактеристике самог генома. Молекуларни маркери имају велику примену у мноштву наука: агрономији, генетици, биологији, екологији, криминалистици и другим. Помоћу молекуларних маркера врши се и „фингерпринтинг“, односно добијање јединственог генетичког трага одређене индивидуе.

Он дозвољава откривање генетских варијација, као и идентификацију блиских генотипова. МПС се базира на примени утврђене повезаности и међуусловљености гена, који контролишу експресију неке особине од значаја за даљи рад у оплећењевању биљака. Молекуларни маркери се базирају на полиморфизму које се одређује на нивоу ДНК молекула. Супериорнији су у односу на друге маркере, јер се одликују високим нивоом полиморфизма. Поред тога, релативно су једноставни за примену, широко су распрострањени унутар генома и могу се детектовати у било којој фази раста биљке. Иако МПС подразумева све врсте маркера данас се овај појам односи превасходно на молекуларне маркере. МАС је тренутно фокусирана на: 1) повећање ефикасности селекције и то на особине које се налазе под контролом већег броја гена и под јаким утицајем су фактора спољашње средине, 2) селекцију особина од економског значаја, 3) акумулацију и генске пирамиде пре свега код отпорности на болести. Међутим, за имплементацију МПС у садашње оплећењивачке програме, поред доступности генетичких мапа високе резолуције, потребно је задовољити и следеће услове: 1) постојање утврђених веза маркер-ген од интереса, 2) валидизација веза маркер-особина у различитим генетичким позадинама и 3) доступност маркер техника високе продуктивности и економичности, 4) идентификовања локуса одговорних за квантитативне особине (*Quantitative Trait Loci, QTL*). Детекција и анализа генетичке варијабилности може бити од значаја за разумевање молекуларне основе различитих биолошких појава биљака (као што су раст и развиће, отпорност на биотичке и абиотичке услове стреса). Биљно царство је исувише велико и разноврсно да би цело било обухваћено пројектима секвенционисања. Молекуларни маркери и њихове корелације са фенотипским карактеристикама пружају нам увид у постојећу генетичку варијабилност, која је неопходна у почетном материјалу.

ДНК маркери су генерално класификовани у две групе: RFLP и PCR маркери. Првој групи припадају маркери који су засновани на полиморфизму ДНК после исецања рестрикционим ензимима и хибридизације са одговарајућим пробама. Проба у ствари представља ДНК фрагмент познатог порекла или секвенце. Овој групи поред RFLP маркера (*Restriction Fragment Length Polymorphism*) припадају и VNTR маркери (*Number Tandem Repeat*). Код RFLP технике ДНК полиморфизам се детектује на бази хибридизације хемијски обележене ДНК пробе на имобилизирајућу матрицу (*Southern Blot*), која је претходно исечена применом рестрикционих ендонуклеаза, тако да се полиморфизам

заснива на разликама у дужини добијених ДНК фрагмената. RFLP маркери су релативно полиморфни, наслеђују се кодоминатно, а карактерише их висока репродуктивност. Због своје распрострањености у биљним геномима су дуго сматрани супериорним. Међутим ова техника није широко распрострањена јер је дуготрајна, неефикасна и неекономична. Примена оваквих маркера захтева велику количину ДНК у испитивању полиморфизма и коришћење радиоактивно обележених проба што је утицало на развој нових типова молекуларних маркера. VNTR маркери, који се још називају и минисателитима, као и хиперваријабилним поновцима представљају тандемске поновке ДНК секвенци. То су кодоминатни маркери, који се као и RFLP маркери базирају на примени проба. До данас је идентификован одређен број минисателитских секвенци у хуманом геному, као и геномима одређеног броја биљних и животињских врста. Већина детектованих минисателита садржи уобичајен мотив у литератури познат као „срж секвенца“. Широка распрострањеност у геномима одређених биљних врста, као и проба које омогућавају детекцију до 30 локуса, чини их погодним за утврђивање ДНК профила. Друга група укључује маркере који се заснивају на PCR (*Polymerase Chain Reaction*) техници, која представља *in vitro* амплификацију одређених секвенци ДНК или локуса, помоћу прајмера и термостабилне ДНК полимеразе, после чега се амплифицирани фрагменти раздвајају различитим методама. Развојем PCR технике створен је и велики број молекуларних маркера који се могу користити за детекцију, карактеризацију и оцењивање генетичког диверзитета. Данас су на располагању бројни маркери на бази PCR реакције. За испитивање биолошких материјала на основу молекуларних маркера користе се бројне аналитичке технике, које се често комбинују. На пример, при PCR методи се комбинују хибридизација ДНК, амплификација ДНК фрагмената и електрофореза. У досадашњим истраживањима највише су заступљени микросателитски маркери и снипови SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*).



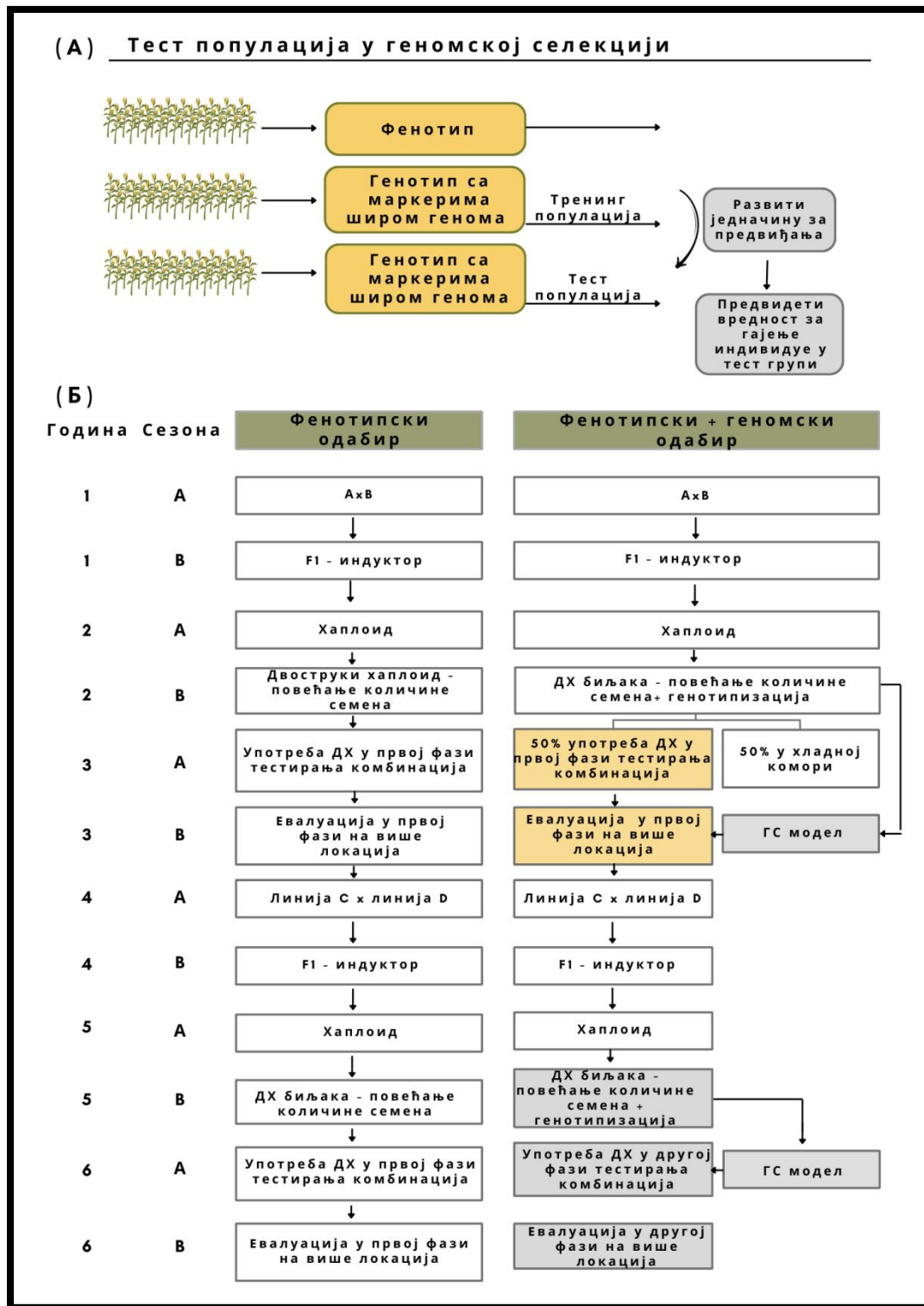
Слика 35. Груба скица корака у молекуларном оплећењавању
Извор: Ауторски цртеж, Младенов В, 2022.

Хлоропластни микросателити примењивани су у циљу детекције процеса хибридизације и анализе генетичког диверзитета биљака, док су се микросателити митохондријалне ДНК, услед њене значајне комплексности и високе стопе реорганизације секвенци, углавном користили за праћење процеса раздвајања особина у популацији. Развој молекуларне технологије коју користимо у генетичким истраживањима је довео до значајног напретка у знањима повезаним са комплетним понашањем биљног генома и употреби у оплећењавању биљака. Молекуларни маркери користе се у сврхе мониторинга ДНК секвенци унутар једне врсте и између више и на сличан начин довеле до повећања генетске варијабилности увођењем жељених особина из старих сорти или локалних популација. Конвенционално оплећењавање је изузетно зависно од услова спољашње средине. Као што је истакнуто у претходним поглављима, то је један изузетно дуг и скуп процес, где резултат не може бити загарантован. Управо зато су се оплећењивачи толико заинтересовали за увођење нових технологија у процесе селекције. У последњој деценији бројни ДНК маркери су створени са циљем да постану основно оруђе у новим оплећењивачким програмима. На почетку експанзије молекуларне генетике многи истраживачи су прихватили овакве методе са резервом. Данас су и највећи скептици

уверени да МПС има будућност. То потврђују и незванични подаци да се у више од 80% светских оплећењивачких институција користи МПС у процесима оплећењивања биљака.

6.3. Геномика, компаративна геномика и дигитални близанци

Молекуларно оплећењивање може да се дефинише као коришћење генетичких манипулација које се изводе на нивоу ДНК ради побољшавања особина од интереса на потомству, а може да укључује генетички инжењеринг, манипулацију гена, селекцију уз помоћ молекуларних маркера или геномску селекцију. Да би студент агрономије могао да делимично разуме употребу геномске селекције у оплећењивању биљака неопходно је да се подсети терминологије и значења из основне генетике. Геном је група хромозома који имају исто или слично филогенетско порекло. Чини га комплекс гена садржаних у једној хромозомској гарнитурџ. У ширем смислу представља свеукупност хромозомских елемената генетичког садржаја једног генотипа. Геномска анализа, на којој је базирана геномска селекција је метод којим се омогућава да се одреде диплоидни преци алополиплоидних врста. Састоји се од анализе спаривања хромозома у мејози у хибридној комбинацији између полиплоида и диплоида. Ако је један диполоид учествовао у формирању другог полиплоида, онда долази до спаривања хромозома између две гарнитуре хомологих хромозома у хибриду.

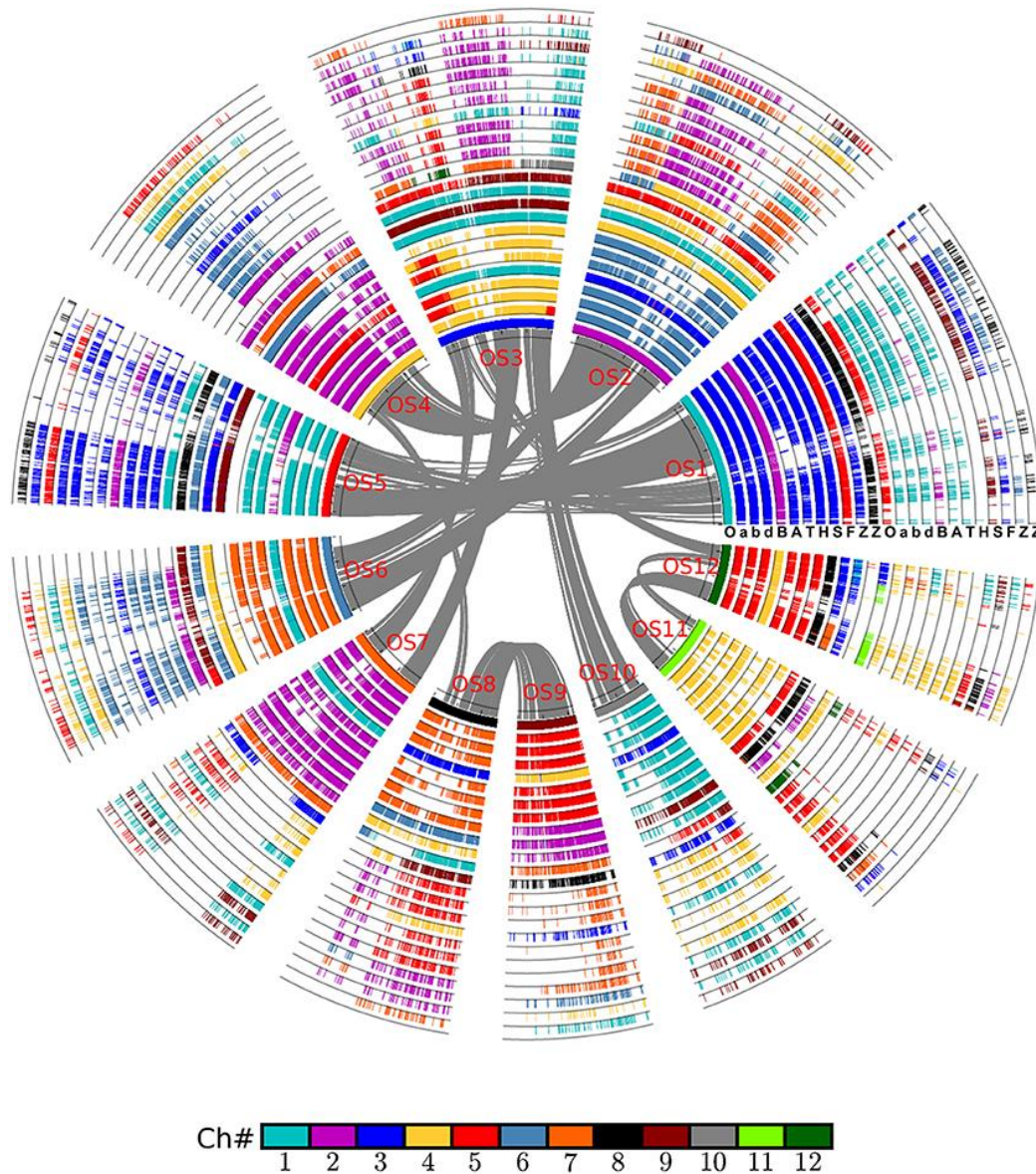


Слика 36. Геномска селекција у оплећењевању биљака
Извор: Милана Чурчић, 2025.

Сви живи организми имају особине које наслеђују од родитеља и преносе на своја потомства. Задатак молекуларног оплећењевања биљака је заправо да утврдит везу између мање или веће групе гена који услољавају испољавање ове особине и одреди сигурност те експресије, односно уколико је могуће израчунати је. Геномска селекција представља само још један корак даље у маркерима помогнутој селекцији, где смисао није користити што више маркера, као када се ради са SSR маркерима, већ свега неколико најважнијих маркера. Циљ употребе молекуларних маркера је идентификација локуса (QTL) који су засигурно повезани са особином од интереса за истраживача. Међутим, геномика користи све расположиве податке о маркерима не би ли предвидела учинак у поменутом преносу особина са родитеља на потомство и сходно томе даје тачнија предвиђања у виду статистичких података из поља и везе са генима од интереса. Оплећењевање биљака може да се заснује само на основу предвиђања геномске селекције, што потенцијално доводи до бржих резултата и смањује губитке. Оплећењивач се ослобађа велике количине материјала и заснива процес селекције на умного простијим методама, са мање радне снаге, при чему индекси тачности често у оплећењивачким програмима прелазе 96% у предикцијама. Наравно, идеално је геномска предвиђања комбиновати са подацима из лабораторије, односно молекуларизацијом одређеног генотипа и фенотипизацијом, односно анализом морфолошких података из поља. На тај начин се повећава тачност предвиђања генотипских вредности, који ће касније бити искоришћени у стварању новог генотипа. У последње две декаде алатка геномске селекције је унела огромне промене у сектору оплећењевања биљака. Предност у односу на старије методе, у које убрајамо и молекуларну анализу материјала је заправо употреба статистичких модела у процени експресије генетичких карактеристика, кроз различите агроколошке услове. Геномска селекција не захтева потпуно разумевање како су одређене особине контролисане или уз помоћ којих гена, а предвиђа врло добро и полигене особине, попут приноса и других особина условљених експресијом већег броја гена.

Упоредо са молекуларном генетиком и геномиком, до развоја је дошло и у пољу компаративне геномике. Она омогућава боље разумевање гајених усева, њихову биологију и физиолошке процесе у биљкама, али и други угао у могућим процесима оплећењевања биљака, али и животиња. Технолошки напредак је донео пуно ствари које су олакшале

идентификацију региона од интереса, секвенционирање, као и скок у компаративној геномици. Основна генетичка испитивања су довела до мапирања различитих гена, па је комбинација геномике и феномике сигурно *blueprint* или показатељ како ће се оплећење билака вршити у будућности.



Слика 37. Компаративна мапа генома пшенице и пиринча, по моделу генетичке колинеарности
Извор: [ФПЈС](#), 2024.

Постојање делова хромозома са структуром очуваном као код неких дивљих сродника омогућило је утемељивање теорије компаративне геномике, по принципу

склапања легу коцки. По овој теорији научника Мура, конзервисани региони хромозома (објашњени у раду као легу коцке), садрже исте или сличне маркере и гене као садашњи организам, а њихов распоред је такође сличан. Конзервација у секвенци је независна од структуре хромозома и пloidије организма. Број еволуционо очуваних делова хромозома варира, али увек постоји и на основу идентификације и анализе тог дела хромозома, могуће је предвидети понашање читавог организма. Компаративне мапе, које обухватају молекуларне маркере појединих биљака су омогућиле нови увид и отвориле нове видике у оплемењивању тих биљних врсти. Коришћењем Мурове законитости сачињене су бројне компаративне мапе, коришћене у геномици, поготову када је пробама утврђено да постоје јасни сигнали на мембранама ћелија после рестрикције геномске ДНК. Открићем нових метода за секвенционисање ДНК, у ери снипова, појефтинили су трошкови секвенционирања по једном нуклеотиду, док су са друге стране увећане могућности секвенционисања, па је то у комбинацији са предикцијама довело до расветљења састава бројних организма, сачињеним од неколико генома, што је почетком 2000-их било незамисливо.

Иако је било потпуно сулудо предвидети да ће науку из претходног пасуса нешто моћи да засени и то се догодило увођењем вештачке интелигенције у пре свега индустрију, а касније и у биолошке науке. Креирање дигиталних близанаца или *digital twinning*, је у овом моменту последња реч науке, на којој сада ради само универзитет у Ваганингену, када говоримо о биљкама. Употреба дигиталних близанаца је утемељена на принципима учења машине (*machine learning*) и вештачке интелигенције, при чему долази до стварања идентичне биљке или дела машинине. Такву „вештачку“ биљку је лакше тестирати и пробати њену адаптацију на многе услове абиотичког и биотичког стреса. Примена у медицини и фармакологији је у порасту, јер је учинковито направити копије тумора који се јављају у људима и тестирати лекове на истима.



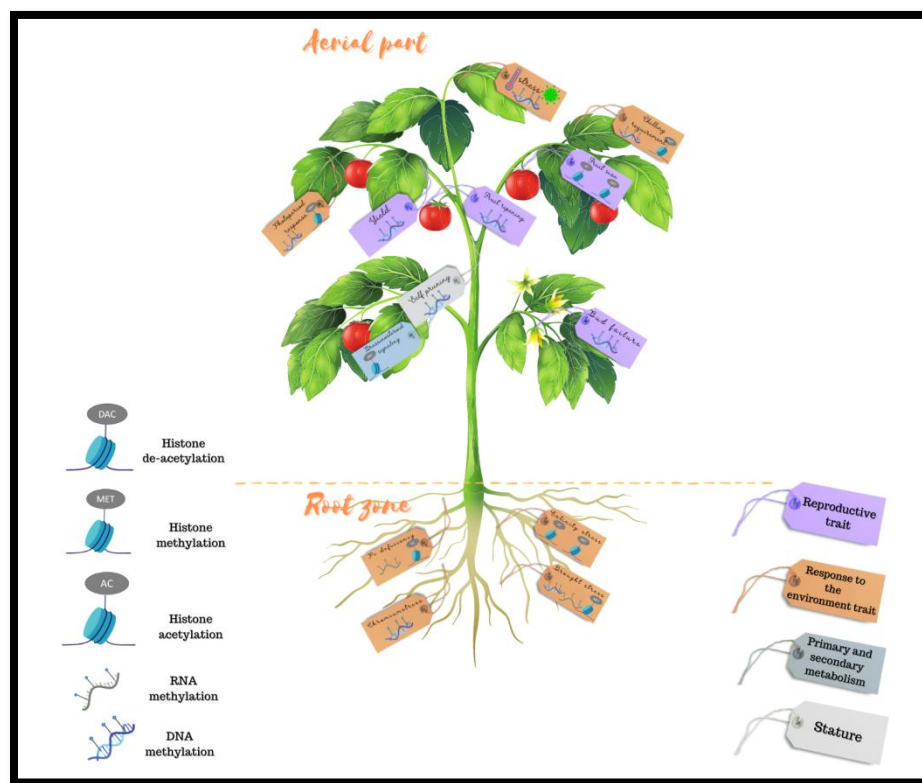
Слика 38. Примери дигиталних близанаца у индустрији и пољопривреди
Извор: Интернет, дорадио Младенов 2025.

„Дигитални близанци“ омогућавају до сада незамисливе нивое контроле над физичким ентитетима и помажу у управљању сложеним системима организама. Остаје да видимо да ли ће овај начин дуплирања биљака заживети и поправити стање у агрономији и научним остварењима.

6.4. Калемљење и епигенетика

Иако калемљење представља један древни метод укрштања у воћарству, данас је у широкој употреби калемљење поврћа. У двадесет првом веку се у великој мери користи у пољопривредној производњи за контролу патогена који се преносе у земљишту, абиотичких и биотичких стресова и за побољшање фенотипских карактеристика популације. Комерцијално калемљење поврћа тренутно се примењује код парадајза, лубенице, диње, патлиџана, краставца и бибера. Такође се сматра брзом алтернативом релативно спором приступу гајењу за повећану толеранцију поврћа на абиотички стрес. Међутим, иако се калемљење користило вековима, све до данас, остало је још много питања која нису расветљена. У овом делу уџбеника ће се разјаснити механизми који се дешавају током калемљења, посебно геномске интеракције између кандидата за

калемљење и утицај подлога на перформансе потомака. Посебан акценат треба ставити на однос калемљења поврћа, епигенетике и промене у морфологији и квалитету производа. Недавна достигнућа у науци о биљкама, као што је секвенцирање следеће генерације, пружају нове информације о молекуларним интеракцијама између подлоге и потомака. Сада је доказано да се генетска размена дешава преко спојева калемљења између подлоге и изданка, потенцијално утичући на ефекте посредоване калемљењем који су већ забележени код калемљених биљака. Штавише, значајне промене у метилацији ДНК су забележене у калемљеним деловима, што сугерише да би ови епигенетички механизми могли бити укључени у ефекте калемљења. У будућности у којој је одржива пољопривредна производња пут напред, калемљење би могло да игра важну улогу у развоју производа већег приноса и квалитета на безбедан начин. Молекуларни аспекти калемљења поврћа су недовољно проучавани.



Слика 39. Епигенетички маркери и приступ у оплећењевању парадајза

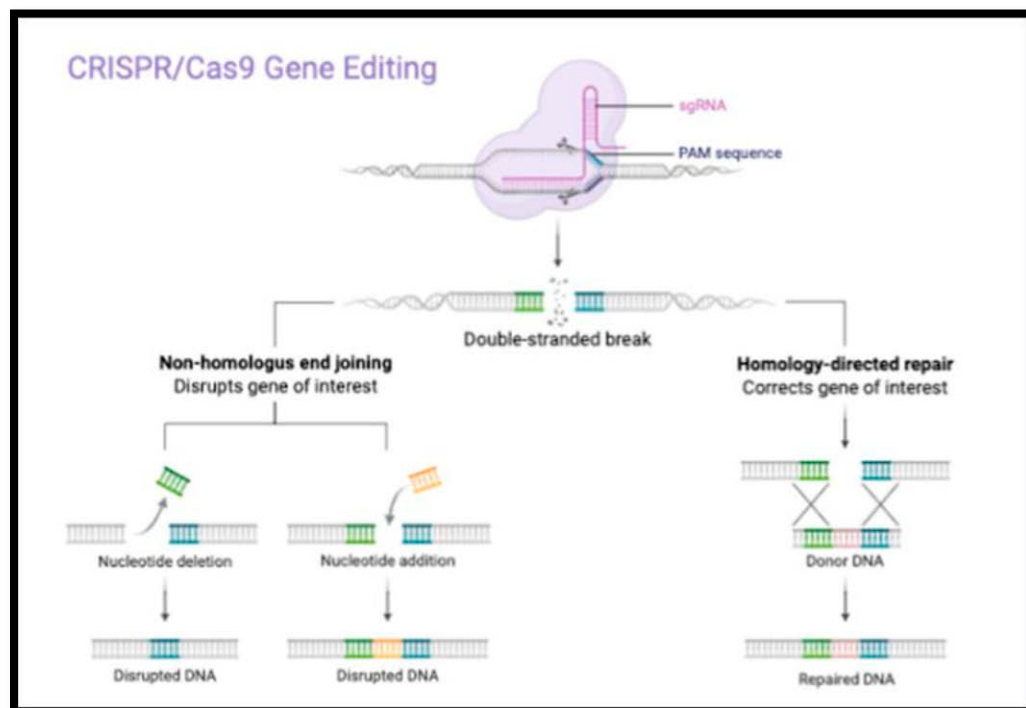
Извор из рада: Liebermann-Lazarovich M, Kaiserli E, Bucher E, Mladenov V (2022): Natural and induced epigenetic variation for crop improvement. *Current Opinion in Plant Biology*. 70:102297. Ауторски цртеж, Младенов 2022.

Посебну пажњу треба посветити важним механизмима који се одвијају током пресађивања, као што је поновно повезивање ткива и формирање васкулатуре, комуникација подлоге и потомака и геномске интеракције и утицај подлога на особине потомства. Све значајнији акценат је онај између калемљења и епигенетике, која укључује стабилне и могуће наследне промене експресије гена које су узроковане начином на који је ДНК упакована, уместо промена примарне секвенце ДНК. Епигенетика је повезана са скоро сваким аспектом развоја биљака и интеракције биљака са околином. Истраживачи могу повећати и користити епигенетичку варијабилност кроз коришћење мапирања епигенетичких маркера у целом геному и идентификација циља, у настојању да се изабере нови генотип толерантнији на глобалне промене климе. Посматрајући производњу цена производње калемљених биљака је већа него конвенционалних. То је зато што је ручно калемљење радно интензиван посао јер често захтева високо квалификовано особље који имају ограничено време за садњу и да искалеме велик број биљака. Овај проблем може да се реши коришћењем аутоматизованог калемљења уз помоћ машина или робота, што би значајно појефтинило цену коштања. Међутим, побољшање технике калемљења захтева даља истраживања о молекуларним механизмима који управљају калемљеним биљкама, њиховим особинама и значајно утичу на фенотип. Интеракције у процесу калемљења су врло комплексне и неке студије показују да калемљење мења експресију гена која утиче на фенотип потомства.

6.5. Crisper/Cas9

У данашње време једна од најмодернијих и највише коришћених техника у молекуларним истраживањима широм света је свакако криспер метод. Од када су Вотсон и Крик установили модел ДНК истраживачи и научници широм света су имали жељу да искористе и увиде њену важност, као и да покушају неки вид манипулације и уређивања ДНК. Свака промена у ДНК молекулу представља генетички инжењеринг, а криспер (*clustered regular interspaced short palindromic repeats*) је заправо само један од метода

инжењеринга. Постоје неколико метода који укључују разне технике за циљање одређеног дела ДНК. Сви они омогућују истраживање некодирајуће и кодирајуће ДНК и увођење мутација ензимским реакцијама. До сада су познати цинкови прсти, ТАЛЕН технологија, као и криспер. Крајем двадесетог века јапански истраживачи су приметили да у геному бактерије ешерихије коли *кратке палиндромске понављајуће секвенце*, који су после пронађени и у другим организмима. Почетком овог века почела су истраживања тих поновака, не би ли се дефинисала њихова функција. Утврђено је и то да они потичу од бактериофага и плаزمида, а представљају адаптивни имунолошки систем. Криспер је тачније група кратких палиндромских понављајућих секвенци који су међусобно одвојени прото-размацима, који потичу од егзогене ДНК, попут плазмида или генома бактериофага. Уз локус криспер налази се и кодирајућа компонента протеина CAS, који се може поделити у три фазе, па отуд и назив Crispr/Cas9. Постоји три начина на који систем криспер може да се унесе у ћелију и то вирусни, невирусни и физички начин. Вирусни подразумева инфекцију ћелијама бактериофагима, невирусни уз помоћ катјонских вектора и физички начин је уз употребу микроинјекција или електропорацијом.



Слика 40. Crisper/Cas9 техника измене генома
Извор: Biorender, Младенов 2024.

Данас је систем криспер због своје ефикасности, прецизности и релативно једноставне употребе постао један од највише употребљаваних алата за уређивање генома и тиме примену у оплећењавању биљака. Малим променама специфичне РНК (*sgRNA*) може да се нациља било које место у геному, без употребе и активације синтезе протеина. У моменту писања уџбеника у Србији не постоји нико ко активно користи ову технику у оплећењивачким процесима, али остаје нада да ће се користити у ближој будућности.

7. ИНТЕЛЕКТУАЛНА СВОЈИНА

7.1. Сорта као интелектуална својина

Сорта или хибрид представљају плод уложеног рада, времена и труда оплећењивача. Процес стварања сорти и хибрида је објашњен у претходним поглављима и без обзира што студент нема практична искуства са стварањем нових генотипова могао је да стекне утисак колико је година потребно уложити у овај тежак процес. Са друге стране нови генотип представља и замисао оплећењивача коју је гајио читаве декаде и није усамљено мишљење да је оплећењивање биљака заправо уметност којој се агроном у потпуности посвети, да би то на крају резултирало новим организмом. Призната сорта афирмише оплећењивачку кућу из које потиче нови генотип, али и самог оплећењивача, јер све најпознатије сорте и хибриде знамо ко је направио и из чијег програма потичу. Стога, морамо разумети да је од великог значаја свој деценијски рад и заштити и да је неопхода законска легислатива која препознаје сорту као интелектуалну својину и изједначава је са важношћу патента и других научних открића. У поглављу *сорта и хибрид* су дефинисане врсте сорте које постоје, касније кроз уџбеник начини како се до њих долази, међутим посебну пажњу треба посветити научном планирању и спровођењу у дело овог процеса. Новостворени генотипови морају да поседују високу униформност, јер је то један од услова код признавања сорти од стране ресорног министарства. Проф. Милошевић каже да су захтеви за сортом, односно генетичком чистоћом високи, јер она резултира униформношћу биљака у оквиру једне биљне сорте. Ти захтеви су посебно изражени међународним стандардима које прописује Организација за економску сарадњу и развој, у оквиру шеме за семе (*Organization for Economic Co-operation and Development – OECD Seed Scheme*); као и Међународна организација за заштиту нових биљних сорти (*International Union for Protection of New Varieties of Plants – UPOV*). **Закон о заштити права оплећењивача биљних сорти** из јуна 2011. године, о ком ће у предвиђеном

поглављу бити више речи, уређује и обухвата услове за додељивање права оплећењивача, поступак за додељивање права оплећењивача, право оплећењивача (обим права оплећењивача, изузеци од права оплећењивача, исцрпљење права оплећењивача, претходна заштита права оплећењивача), пренос права оплећењивача и уступање права коришћења заштићене сорте, престанак права оплећењивача, као и грађанско-правну заштиту права оплећењивача. У том закону је дата и дефиниција биљне сорте као: *скуп биљака унутар јединствене ботаничке класификације најниже познате категорије који је, без обзира на то да ли су услови за додељивање права оплећењивача испуњени:*

- *дефинисан изражавањем особина које су последица утицаја датог генотипа или комбинације генотипова,*
- *различит од другог скупа биљака по изражавању најмање једне од датих особина,*
- *који представља јединицу у односу на могућност сорте за умножавање без промена.*

УПОВ дефинише сорту као групу биљака унутар једног ботаничког таксона најнижег познатог ранга. Важно је да студент препозна значај тачности дефиниције и законске регулативе који долази изван самог оплећењивачевог посла. Такође, чињеница да Република Србија има закон који регулише овај вид производње, а и да постоје ЕУ законске регулативе говори довољно о томе да је сорта дефинитивно важна интелектуална својина и да она мора да се разликује по својим особинама, као и да буде различита од других сорти које се добијају у процесу умножавања. Надаље закон дефинише *оплећењивача сорте* као:

- *лице које је створило или открило и развило нову сорту,*
- *послодавац лица које је у радном односу створило или открило и развило нову сорту или лица које је по његовом овлашћењу обавило посао,*
- *лице које је правни следбеник лица које је створило или открило и развило нову сорту или његовог послодавца.*

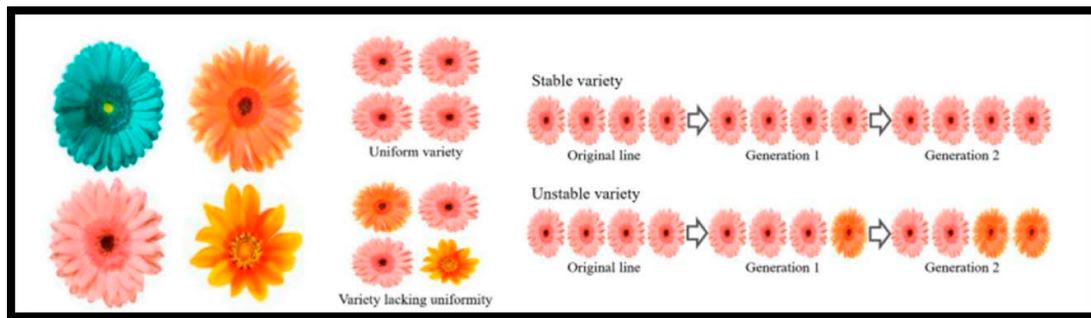
Важан став закона је и да се право које може да оствари оплећењивач додељује оплећењивачу сорте, односно ако су два или више оплећењивача заједно створили или открили и развили сорту имају једнако право на заштиту права оплећењивача. *Ако су два или више оплећењивача, независно један од другог, створили или открили и развили сорту,*

право оплећењивача има оплећењивач који је први поднео захтев за додељивање права оплећењивача биљне сорте. Сорта се сматра новом ако на дан подношења захтева за додељивање права оплећењивача биљне сорте репродукциони или убрани материјал те сорте није продат или на други начин отуђен од стране оплећењивача или уз његову сагласност, а ради њеног коришћења у Републици Србији дуже од једне године или на територији друге државе дуже од четири године, односно дуже од шест година у случају винове лозе, дрвенастих воћних врста и осталог дрвећа. Оно на шта се при признавању сорти обраћа посебна пажња је **идентитет нове сорте**. Сортни идентитет представља особине новопредложене сорте, које су различите у довољној мери од до тада признатих сорти. Ове особине могу да буде квантитативне или квалитативне, али најважније је да сорте буду уједначене и тада је одржавање сортног идентитета и генетичке чистоће у великој мери олакшано. Данас је на свету мали број земаља које врше регистрацију нових сорти без претходних испитивања. Сортни идентитет у Републици Србији, се по узору на земље ЕУ установљава тестовима различитости, уједначености и стабилности. Када оплећењивач направи нову линију од изузетне је важности да се она разликује од пређашње признатих сорти. Стога се приступа поређењу са до тада признатим сортама и доказивању да је она различита, униформна и стабилна. Тест се назива *DUS (Distinctness, Uniformity, Stability)* при чему то представља акроним од енглеских назива за различитост, униформност и стабилност. За правилно извођење овог теста је неопходно:

- поседовати технички водич за гајење биљака. У том водичу је описана комплетна фенотипизација, која обухвата праћење морфолошких особина (боје и облика), физиолошких и биохемијских карактеристика (јединственост сорте, толерантности и отпорности);
- направити колекције до тада признатих сорти, доспелих линија и сорти стандарда које служе за поређење, као и базе података;
- сакупити податке о новим сортама у земљи ради заштите интелектуалне својине. Ова врста тестова се не врши само у сврху признавања сорти, већ и поменуте заштите интелектуалне својине.

DUS тестови подразумевају тестирање линија у пољу и у лабораторији. За тестирање се користе *UPOV (International Union for the Protection of New Varieties of Plants)*

дескриптори врста. Агрономски огледи у пољу трају две године и постављају се на више локација у зависности од усева. Најчешће се огледи спроводе широм земље у: Сомбору, Панчеву, Земуну, Сремској Митровици, Кикинди, Врбасу, Пожаревцу, Крушевцу, Трстенику, Гучи... У овим дескрипторима врста је описано мноштво особина.



Слика 41. Илустрован пример из DUS тестирања. При чему први део цртежа представља различитост (лево), други део униформност (средина) и стабилност (десно).

Извор: JK Yu and YS Chung (2021): *Plant Variet Protection: Current Practices and Insights*. Genes. 12, 1127.

Неке су описане бојом, неке положајем листова, неке одсуством или присуством одређеног дела биљке. У великој мери дескриптори се разликују по пољопривредним усевима. DUS тестирање не обухвата само пољске огледе и фенотипизацију, већ и ланчану реакцију полимераза, која је објашњена у молекуларним техникама овог уџбеника. Уз помоћ ње и низа молекуларних техника је могуће да се утврди да ли нека сорта садржи отпорност на одређени патоген и сл. У данашње време генотипови се некада разликују само у тој врсти особина, па је неопходно извршити и лабораторијско тестирање. Процедура за пријаву на први тест подразумева: 1) пријем пријаве са оплећењивачевим описом сорте, техничким упитником са додатним особинама, као и 2) биљни материјал. Затим је неопходно урадити први циклус гајења где се потврђује опис сорте и провера униформности. Анализи података се приступа у следећој фази, где се пореди опис сорте кандидата и референтних сорти и хибрида, као и идентификација сличности сваке сорте кандидата. У другом циклусу гајења се утврђује различитост (при чему се најсличније сорте сеју једна поред друге), затим униформност поново, као и опис. Ови тестови имају двојаку улогу, користе се у поступку признавања сорти и у процесу заштите права оплећењивача нових биљних сорти. Услови између министарства и пружаоцем услуга који обезбеђује и спроводи ове тестове се одређују уговором. За спровођење ових тестова у

циљу заштите биљних сорти, УПОВ је дао детаљан опис који свака сорта мора да испуни не би ли била у поступку заштите и он подразумева следећа погавља: предмет тестирања, материјал који се захтева за тестирање, спровођење теста, метод и посматрање, груписање биљака, особине, табела особина, објашњење посматраних особина, коришћена литература, технички упитник и анекси. Као допуна овоме може да се ради и електрофоретски тест. Она се не ради као рутински тест приликом анализе сваке сорте, већ у договору са подносиоцем сорте кандидата.

Други тест који се спроводи у поступку испитивања пријављених генотипова у циљу тестирања прилагођености агроколошким условима, зове се *VCU* тестирање (*Тестови за испитивање производне и употребне вредности*). То обухвата тестирање на више различитих локалитета, које одликују различити типови земљишта и што је могуће другачији временски услови. У коначници треба да се добију сорте који имају бољу агрономску вредност од постојећих сорти. Оплемењивач током стварања сорте води рачуна и о овим особинама генотипа, због тога је његов посао тежак. Није у питању само висина приноса, већ и адаптираност поједином региону у земљи, где је раностасност или касностасност потребна. Развијеност кореновог система, хемијски састав, параметри технолошког квалитета, само су неке од особина неходне у оцени пољопривредне вредности. Но, пољопривредна вредност сорте зависи од: способности генотипа да остварује висок принос, способности да добро реагује на унапређене мере неге, да даје принос задовољавајућег квалитета, да је толерантна на болести и штеточине, да је погодна на механизовану обраду и жетву итд. Извођење сортних огледа за министарство пољопривреде није лак задатак и захтева стручан кадар. Врло често спроводе се у *Пољопривредним стручним службама* (ПСС), које имају запослене агрономе свих усмерења. Они заједничим деловањем спроводе и контролишу огледе и достављају резултате истих комисији за признавање сорти. Њихов задатак је да изврше процену вредности нових линија и да их упореде са сортама стандардима. При извођењу огледа врше се посматрања и уредно бележе у току вегетације, затим се утврђује принос и врше се нека лабораторијска испитивања. Начин и дизајн огледа зависи од тога колико сорти има у укупном огледу, али се у сортним огледима углавном користи рандомизирани блок систем. Величина парцеле за пшеницу је $5-15\text{m}^2$, а за кукуруз $15-25\text{m}^2$. Ови огледи се углавном постављају у четири понављања. За сортне огледе се користе специјалне машине

за сетву и жетву. Реч је о малим машинама који имају радни захват усклађен са величинама парцеле. Извођач огледа генотипове добије под шифром, коју установљава министарство. На тај начин се осигурава да је тајност на високом нивоу и да ће сваки оглед бити спроведен непристрасно. Поред приноса који се бележи, важно је водити рачуна и бележити: датуме појаве поника, датум цветања, класања, отпорности на болести, штеточине, отпорност на полегање, осипање, датум сазревања, дужину вегетације и др. Након тога се приступа лабораторијским анализама, пре свега анализи технолошког квалитета, хемијском саставу зрна, уделу протеина, масти и угљених хидрата. Маса хиљаду семена и хектолитарска маса такође представљају обавезне параметре који се достављају комисији за признавање сорти.

7.2. Значај заштите биљне сорте

Сваку сорту карактерише назив, који мора да буде јединствен и не сме да се понавља. Назив сорте може да буде и заштићен регулативом повезаном са заштитом права оплећењивача. Називи сорти су регулисани *Међународним кодом за номенклатуру* и регистровани су у *Међународном регистру сорти*. Назив сорте садржи ботаничку класификацију, која је праћена пореклом сорте, односно родословом који доставља оплећењивач или институција. Назив сорте не сме да буде нејасан и мора да прати следећа правила: да је предложен назив сорте јединствен и да је на европском нивоу дат на још неком језику осим латинског; да назив сорте не може да буде нејасан приликом писања или изговарања; да назив сорте не преувеличава њен значај; да назив сорте не садржи више од десет симбола, односно 30 карактера укључујући размаке; да се назив сорте не садржи само од једног броја или слова; да не треба користити реч сорта или хибрид у називу; да не треба користити знакове интерпункције; да назив сорте не садржи латинско име ботаничке класификације и да назив сорте није по жељи оплећењивача, уколико га институција предлаже. Заштита сорти представља право оплећењивача да уступи право гајења биљне сорте оним произвођачима који плате лиценцу, односно да врати уложена средства уложена у стварање сорте. Почевши од 1995. године до данас у ЕУ је заштићено

3014 сорти по званичном сајту CPVO (2022. године). Од изузетне је важности имати добар систем заштите биљних сорти, при чему је наравно много већа важност на самооплодним биљкама, јер семе странооплодних биљака произвођач свакако купује, с обзиром да су већином хибриди. Међутим, у нашој земљи је „семе са тавана“ врло чест проблем и по последњим подацима чак 70% најважнијих самооплодних биљних врста се сеје нелегитимним семеном које није сертифицировано. То значи да је 30% семена купљено на легитиман начин, а да је остатак посејан ван знања надлежних институција, као и ствараоца сорте. Зато је важно сорту заштитити, јер и уколико произвођач не плати семе, у обавези је да плати лиценцу за сетву семена које је сам умножио. Нове сорте, које дају много више приносе него раније, бољи квалитет семена и одликују се бољом толерантношћу на нападе патогена кључни су елемент и најекономичнији чинилац у повећању продуктивности и квалитета производа у агрономији и заштита таквих сорти има немерљив значај.

7.3. UPOV и CPVO

Скраћеница УПОВ долази од енглеског назива за међународну унију за заштиту нових биљних сорти (*The International Union for the Protection of New Varieties of Plants – UPOV*). Њена основна функција је да се стара о примени *Међународне конвенције за заштиту нових сорти биљака*, да обезбеди ефикасан систем заштите сорти, за корист друштва. Прва конвенција је ступила на снагу 1968. године када су је ратификовали Велика Британија, Холандија и Немачка. Седиште уније је у Женеви (Швајцарска), док су њени органи управљања Веће и Канцеларија уније. Консултативни комитет, Административни комитет, Правни комитет и Технички комитет су основани од стране Већа, зарад боље организације у управљању. Државе и невладине организације које желе да прихвате УПОВ конвенције имају донесене законе о заштити сорти, који су у сагласности са претходно усвојеним конвенцијама. УПОВ је такође основао и радна тела за пољопривредне биљне врсте, где се разликују тела за аутоматизацију, компјутерске програме, разне групе биљака, као и за биохемијске и молекуларне технике, односно ДНК

профилисање. У овом моменту УПОВ сачињава 78 земаља чланица, при чему је Република Србија члан од 05.01.2013. године. Овај систем заштите права оплемењивача се стално мења, не би ли се унапредио. Крајњи циљ је усклађивање заштите права оплемењивача са заштитом примене патентног права. Сорту може да буде заштићена, уколико је нова, униформна, различита и стабилна. Да би се установило да је нека сорта нова на тржишту, неопходно је да она није продавана или отуђена на територији ЕУ више од годину дана пре подношења захтева за утврђивања права оплемењивача. Остале ставке су у складу са већ описаним ДУС тестирањем. Ауторска права оплемењивача се односе на створену сорту, затим сорту која је изашла из заштићене сорте, сорту коју није могуће разиковати од заштићене биљне сорте и на сорту чија производња захтева поновљену употребу заштићене сорте. Ауторска права се не односе на радње преузете за личну употребу и у некомерцијалне сврхе, радње предузете у експерименталне сврхе и за радње преузете у сврху стварања нових биљних сорти, под условом да нова сорта није изведена из заштићене сорте. Изведена сорта подразумева да је иницијална сорта коришћена у процесу оплемењивања. Да би то било доказиво користе се: комбинационе способности (ОКС и ПКС); фенотипизација; молекуларне особине сорте и записи из процеса оплемењивања биљака. УПОВ конвенција предвиђа и **три изузетка**, при чему је први *оплемењивачев изузетак*, при чему он подразумева коришћење заштићене сорте у истраживачке сврхе и као почетни материјал за укрштање; други је привилегија произвођача, која ће бити објашњена у следећем поглављу и *опциони изузетак*, који дозвољава да држава чланица УПОВ-а одлучи да дозволи произвођачима да умножавају заштићене сорте.

Скраћеница CPVO (*The Community Plant Variety Office*) потиче из енглеског језика и представља Канцеларију за заштиту биљних сорти у ЕУ. Свака држава чланица УПОВ-а може да заштити сорту као интелектуалну својину на територији своје земље или на територији земаља у којима се то семе користи. Уредбом Савета Европе је успостављен систем за заштиту сорти као једини правни облик у погледу заштите сорти за нове сорте унутар ЕУ. Она представља спроводиоца система за заштиту сорти унутар ЕУ и за чланице УПОВ-а. Делатност ове канцеларије поред заштите сорти је и хармонизација интерног Еу тржишта и ова делатност се не примењује на чланице УПОВ-а које нису земље чланице ЕУ, као што је то случај са нашом земљом. CPVO има своје техничке протоколе, при чему се разликују технички протокол (ТП) за ратарске усеве, ТП за украсне биљке, ТП за

воћарске биљне врсте и ТП за повртарске усеве. Унутар тих техничких протокола свака биљна врста има свој број посебног протокола, који садржи број, латински назив врсте, датум када је протокол усвојен и датум када је протокол ступио на снагу. Ова канцеларија није саставни део УПОВ-а, али активно сарађује са њима, јер кроз своје огранке представља разна друштва оплемењивача, који се залажу за хармонизацију и уједначавање метода на свим нивоима при оцени, признавању или заштити сорти. Управо ово је и смисао ова два система, да се међусобно допуњују и да је њихова комплементарност довољна.

7.4. Привилегија произвођача

Привилегија произвођача представља један од три већ поменути изузетка од примене УПОВ конвенције. У ранијој литератури је за именицу произвођач коришћена именица фармер, међутим тај термин није заживео у нашем језику. Свака чланица УПОВ-а има право да *„у разумним оквирима и уз очување легитимних интереса оплемењивача ограничи право оплемењивача у односу на било коју сорту како би се омогућило произвођачима да у сврху умножавања користе на својим газдинствима производ жетве који су добили од гајења од заштићене биљне сорте или друге сорте унутар заштите“*. Унутар овог уџбеника су већ студентима предочени поражавајући проценти о високом проценту *„семена са тавана“* који се сеје у нашој земљи. Честа је погрешна пракса код нас да произвођач из године у годину сам умножава семе и тиме не поштује законску легислативу нити права оплемењивача. Иако је овај проценат у ЕУ нижи него у Србији и тамо представља својеврсан проблем, али су кроз ову меру дошли до позитивног исхода. Жеље семенских кућа и читавог дела агробизниса семенарства је да систем буде у потпуности уређен и да се сорте, као и хибриди сваке године купују, но назовимо ово приступачнијим решењем.



Слика 42. Обилазак семенског усева кукуруза на парцелама Војводине
Извор: *Светлана Вујић, 2023.*

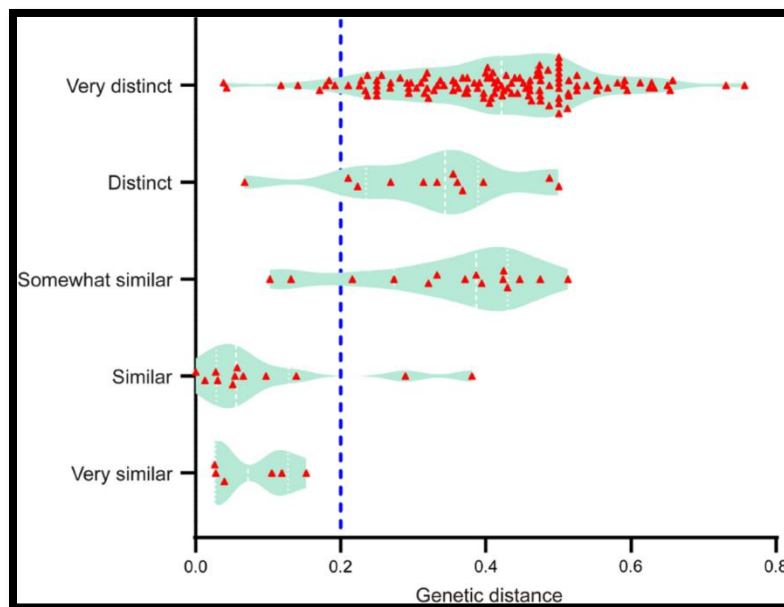
На тај начин земље би бар могле да поседују званичне статистике, које не би биле у доменима претпоставки колико ког усева има у одређеној години производње. Наравно да заштита оплећењивачевих права познаје и ограничења код употребе произвођачевог семена и то да је произвођачима забрањено чување неких култура, дакле не важи за све усеве; само одређени произвођачи могу да уживају ову привилегију; за сетву „семена са

тавана“ је неопходно да се плати оплећењивачу или кући из које оплећењивач долази; произвођачи могу да чувају семе и да га међусобно размењују, али не могу да га продају; произвођач у трансакцијама не сме да користи име сорте. Поред ових ограничења, ресорна министарства у земљама који препознају ову меру, захтевају да им се доставе тачне количине произведеног семена на овај начин, као и посејане површине овим семеном.

7.5. Заштита сорти на молекуларном нивоу

Бројни аутори су сагласни да је у садашњем систему ДУС тестирања много грешака и да је неопходно унапредити, али и поједноставити цео процес који захтева пре свега превише времена. Бројни су ограничавајући фактори за спровођење ове врсте тестирања, при чему се истичу услови спољашње средине, утицај локације, утрошка времена и других фактора који могу да закомпликују цео процес оцене генотипова. Ови фактори могу да поремете експресију фенотипских особина, што је прихватљиво у агрономији, али могу и да доведу до значајног дисбаланса код процене толерантности на одређени патоген, што је много већи проблем. Такође, њихов утицај на квантитативне особине, које су условљене полигенима попут толерантности на сушу и време цветања, је значајан. Стога је мишљење бројних теоретичара и практичара широм света да је у овој врсти тестирања неопходно било увести и обавезно молекуларно тестирање, не би ли се позданост повећала на 100%. Поновљивост теста је на тај начин максимална, брзина доласка до резултата и упоредивост са хиљадама различитих генотипова је вишеструко повећана. Молекуларни маркери који су у вези са генима или локусима од интереса, који условљавају агрономски важне особине код нових сорти су од високог значаја, поготову када су одређене особине тешко уочљиве или неприступачне за тестирање. Из тог разлога је УПОВ основао *Радну групу за примену биохемијских и молекуларних техника и ДНК профилисање (ВМТ)*, која има за циљ да изучава практичне аспекте научних достигнућа, која би могла да буду примењена у идентификацији сорти. До сада је ова радна група предложила два модела, при чему први обухвата примену молекуларних маркера чија веза маркер-особина је већ утемељена са класичним особинама. Други модел је заснован на калибрацији нивоа прага за

молекуларне маркере у односу на минимум удаљености у особинама фенотипа. Овај модел би могао да осигура базу за комбиновање фенотипске и молекуларне дистанце код колекција генотипова и да помогне при утврђивању различитости. Водич TPG/15 који је ова група саставила је одобрен и објављен у октобру 2020. и од тада је на снази. На слици је приказан пример молекуларне дистанце код родитељских компоненти хибрида кукуруза, односно процена корелације између молекуларних и морфолошких података (Слика 43).



Слика 43. Илустрован пример из DUS молекуларног тестирања.
Извор: [Водича TPG/15](#), 2025.

Коришћење молекуларних маркера у DUS испитивањима се и даље истражује, иако се користи, јер маркери доказано имају незамењиву улогу у одржавању квалитета и обима заштите код сорти. Међутим, иако свакодневно расте доступност и број маркера који се користе за обележавање различитих делова генома код биљних врста, истина је да нису израђене секвенце ДНК, односно молекуларни маркери за све особине од интереса које је потребно проверити у овој врсти тестирања. Општи услови за коришћене маркере приликом разлучивања особина сорти су да поседују одређени ниво полиморфизма, да дају поновљиве резултате, да имају унапред утврђену распоређеност по геному, односно место на мапи и да се појављује што мање маркера са нула алела, односно да нема неочитаних алела у PCR реакцији.

8. ПОЉСКИ ОГЛЕДИ И ИНТЕРАКЦИЈА G×E

8.1. Важност пољских огледа

Експериментални рад у агрономији и оплећењивању биљака је почетак и крај сваког испитивања. Већина оплећењивачких приступа данас се базира на тестирању материјала, пољским огледима и фенотипизацији, молекуларној карактеризацији и геномским предикцијама. На самом почетку оплећењивања биљака, пре одабира родитељских компоненти, неопходно је тестирати сав материјал који прикупимо. Стога, пољски оглед представља основ сваког експеримента, иако су у уџбенику објашњене и друге врсте експеримената. Међутим, само у пољу можемо да оценимо комплетно понашање биљке у одређеној агроколошкој средини и само на тај начин можемо да квантификујемо понашање генотипа у њој. Експресија одређених гена неће зависити само од генотипа, већ у великој мери и од места на ком се гаји одређена биљна култура/сорта, од метеоролошких и педолошких, као и од много других извора варијације. Оглед или експеримент је научни метод који се у природним наукама користи на унапред осмишљен начин у циљу објашњења појава и проблема који се дешавају у природи. Циљ постављања огледа је извођење закључака који ће да доведу до евентуалног унапређења пољопривредне праксе. Постављајући експерименте у природи оплећењивач сакупља већи број својих резултата истраживања и на овај начин ослобађа науку од апстракције и чини је стварном дисциплином. Пољски огледи су такви експерименти у којима се под одређеним едафским и метеоролошким факторима испитују варијанте једног или више различитих утицаја. Сваки пољски оглед представља биолошки експеримент чији резултати треба да дају одговоре на скуп питања на основу којих се доносе закључци. Уз помоћ њих се потврђују или оповргавају унапред постављене теореме о природним појавама на одређеној пољопривредној култури. Свака регија на Земљи има своје специфичности и због тога за сваки пољски експеримент може да се каже да има и регионални карактер. Управо због тога је добро поставити исти оглед на што је више

могуће локалитета, односно у што је више могуће агроколошких средина. На тај начин се добија прилика да се прати понашање одређеног генотипа (сорте, линије или хибрида) у различитим условима спољашње средине. Овакав начин испитивања ће много открити о адаптабилности и стабилности генотипа и његовом прилагођавању различитим агроколошким срединама, где ће се поред различитих метеоролошких фактора разликовати и састав земљишта, микроклимат и бројни други чиниоци. Уколико оглед постављамо на различитим локалитетима неопходно је имати и стручан кадар подобан за правовремену и тачну оцену, бележење и праћења тока развоја огледних биљака. Поред важности локалитета које су истакнуте огроман значај код постављања огледа има и број понављања. Сваки оглед поставља се у више понављања и свако понављање је састављено од више варијанти. Колико год да има понављања у једном огледу резултати унутар њих ће се увек разликовати. Резултати једног пољског огледа, који је састављен из оптималног броја понављања, неће се никада поновити и то су приближне вредности које су оптерећене одређеном дозом нетачности, што се назива погрешка огледа. Управо због тога је потребно резултате огледа верно статистички обрадити. Што је већи број понављања унутар истог огледа, то ће се више смањити и статистичка грешка унутар једног огледа. Пракса је показала да је најбоље да се сваки оглед постави у бар четири или више понављања, мада то зависи од броја испитиваних варијабли као и циља истраживања, али и површине са којом располажмо. Методи постављања огледа: блок систем, метод латинског квадрата, сплит блок, сплит плот и алфа латис метод, који се користе у оплећењавању биљака и уопште у агрономији, су детаљно објашњени у практикуму из Оплећењавања биљака. Дужина трајања пољских експеримената је важна, међутим сваки оглед захтева бригу, али одвлачи и ресурсе. Стога оплећењивачки огледи, који служе за тестирање материјала или праћење понашања генотипова у различитим агроколошким условима трају минимално три године, са различитим третманима, варирањима итд.

8.2. Однос статистичких метода и пољских огледа

Статистичка анализа података било које врсте оплемењивачких експеримената је неопходна, јер је велики број података важно сложити на различите начине, не би ли била искористива за даље анализе и коришћење како у математичком делу анализе, тако и касније у графичком делу приказа. Међутим, у 98% посто случајева оплемењивачи и/или агрономи најпре поставе оглед за тестирање линија, а након тога врше одабир математичких модела које ће примењивати. Позната је изјава Фишера, човека који је утемељио анализу варијансе, коју доносимо у оригиналу: *To consult the statistician after an experiment is finished is often merely to ask him to conduct a post mortem examination. He can perhaps say what the experiment died of.* Дакле, препорука сваком од вас ко жели да се бави спровођењем пољских експеримента је да најпре утврдите које математичке моделе ћете користити, а након тога вршите одабир метода за постављање пољског дела експеримента и рандомизацију. Један од најупотребљивијих показатеља мера варијације у оплемењивању биљака је коефицијент варијације. С обзиром да је за његово израчунавање неопходан просек и стандардна девијација (што је детаљно образложено у практикуму), представља пригодан показатељ јер може да се види колико се која особина креће унутар вредности, као и међусобно поредити особине, не би ли се утврдила која је више фиксирана у неком материјалу. Оплемењивачев притисак при деловању на неку особину има за циљ да умањи варирање овог коефицијента и да на тај начин обезбеди такву експресију гена која ће у свакој агроколошкој средини да обезбеди стабилност особине на којој је рађено. Након основне статистике је неопходно користити неки од свеобухватнијих модела, који имају за циљ да идентификују и квантификују изворе варијације у самој особини или испитиваном генотипу. Анализа варијансе (ANOVA) представља метод испитивања хомогености узорак. Основни задатак агронома који жели да испита утицај одређене сорте, ђубрива или особине је да добро осмисли и спроведе пољски или лабораторијски оглед. Уколико у огледима агроном жели да испита само један фактор од набројаних у том случају ће да се определи за оглед који је постављен у виду блокова (понављања), која ће да буду распоређена по парцели по неком систематском,

унапред задатом распореду. Распоред ће да буде такав да ће свако понављање бити заступљено по једном у свакој варијанти. У поглављу другом по реду у садржају практикума из Оплемењивања биљака су приказани разни модели за постављање агрономских огледа. Као што је тамо већ речено, оглед у ком испитујемо само један фактор се назива монофакторијални оглед и такви огледи су данас реткост, јер се при самом постављању огледу тежи мултидисциплинарности при састављању тимова који спроводе оглед у дело. Када се поставља монофакторијални оглед тежи се већем броју понављања (5-7) и настоји се да је квадратног облика, не би ли се смањио утицај хетерогености земљишта. Анализа варијансе служи да бисмо потврдили или оповргли почетну хипотезу, која гласи да не постоји раличитост између испитиваних фактора. Тачније, у биологији не очекујемо да не постоји разлика између индивидуа, него да су одступања случајна и унутар очекиване грешке. Међутим, уколико утврдимо разлику између чланова, требало би је на неки начин „измерити“ и то ће да се уради тако што ће се утврдити статистичка значајност између тих чланова. Рецимо, потребно је да се утврди да ли постоје разлике између пет испитиваних хибрида кукуруза у приносу. Када сагледамо низове који су састављени од понављања добићемо колики је принос остварио сваки од наведених хибрида. Аритметичка средина приноса по понављањима не даје нам довољну тачност да ли се ти хибриди разликују или не, те је због тога потребно приступити овој анализи. Када се утврди да постоји разлика онда се приступа неким од *posthoc* тестова, којим утврђујемо колика је та разлика. Оно што је од изузетног значаја за сам рад у пољу и за каснију обраду резултата је независност посматрања унутар сваког нивоа огледа. То значи да на једном нивоу фактора, који год да је, не сме да буде више резултата који потичу од исте јединице посматрања. Дакле, један број за једно понављање. Анализа варијансе као метод представља основ за добру обраду података које обезбедимо са поља. Међутим, некада је потребно након констатовања да постоје разлике између испитиваних хибрида/сорт и сл., да знамо колике су те разлике. Таква информација ће нам касније послужити при одабиру и модификацији процеса оплемењивања или модификације начина производње. Разлике на које указује *F* тест се утврђују појединачним тестовима, којима поредимо средине третмана. Примена метода анализе варијансе у истраживачком раду агронома уопштено подразумева тестирање хипотезе да је $k \geq 3$ средина основних скупова једнако. Као што смо имали прилике да видимо статистички значајан *F* тест подразумева

одбацивање почетне хипотезе о једнакости аритметичких средина третмана. У том случају је следећи корак поређење просека, а не тотала третмана. Сви *posthoc* тестови подразумевају извођење свих могућих поређења између аритметичких средина третмана. Међутим, основно питање је како донети одлуку за који тест се одредити? Наиме, сви *posthoc* тестови и поступци могу да се односе на индивидуална поређења аритметичких средина третмана или на целе групе ових средина. Многи поступци вишеструких поређења односе се и на поређења између просека третмана уз помоћ контраста, односно унапред одређених поређења. Контраст представља поређење просека третмана који су од интереса примењујући линеарну комбинацију тотала третмана.

Један од тестова, којим може да се упореде средине третмана је *t*-тест. Овај тест се изводи израчунавањем вредност стандардне грешке разлике две аритметичке средине:

$$S_{(\bar{x}_i - \bar{x}_j)} = \sqrt{\frac{2 \cdot S_P^2}{n}}$$

Такође, неопходно је да израчуна број упоређења ($\frac{k(k-1)}{2}$), односно парова разлика у зависности од третмана, а затим добијене вредности *t* упореде са табличним вредностима *t* дистрибуције за степене слободе погрешке из табеле анализе варијансе, за прагове значајности 0,05 и 0,01. Основна карактеристика овог и сличних тестова је коришћење стандардне грешке разлике између две аритметичке средине, аритметичке средине и оцењене стандардне грешке аритметичке средине, које су засноване на оцењеној варијанси погрешке из табеле анализе варијансе. У случају НЗР (*тест најмање значајне разлике*) теста, који је модификација *t* теста, користи се стандардна грешка разлике две аритметичке средине, која се помножи са табличним *t* за степене слободе N-k. За праг значајности од 5% и 1%, НЗР вредности се израчунавају по формулама:

$$H3P_{0,05} = t_{0,05(n-k)} \cdot S_{(\bar{x}_i - \bar{x}_j)}$$

$$H3P_{0,01} = t_{0,01(n-k)} \cdot S_{(\bar{x}_i - \bar{x}_j)}$$

Овај тест је распрострањен у пракси, међутим уколико се примени за број поређења који је већи од броја степени слободе суме квадрата из анализе варијансе, за резултат има нереално велик број статистичких поређења. Управо због те чињенице није лоша опција прибећи вишеструким интервалним тестовима, при чему аутори издвајају Данканов тест. Овај тест је врло ефикасан и често се користи. Њиме се просеци третмана рангирају према величини. Погодан је за тестирање вишеструких хипотеза.

8.3. Анализе стабилности

Претходно описана анализа варијансе представља једноставнији начин анализе података из пољских експеримената. Међутим, оплећењивачи биљака увек теже за идентификацијом и разлагањем одређених компоненти на једноставније и разумљивије изворе варијације. Укупна фенотипска варијанса, односно цела експресија биљке или само једне њене особине се састоји из следећих извора варијације: утицаја генотипа (G), спољашње средине (E), њихове међусобне интеракције ($G \times E$) и погрешке у виду агрономски необјашњиве варијансе. Генотип и спољашња средина представља адитивни део варијансе који је мерљив и оплећењивач се увек труди да га што више стабилизује, не би ли остварио подједнаку експресију у свим условима спољашње средине. Међутим, поменута интеракција представља динамичан део ове варијансе и као таква је мултиваријациона. Што значи да сложенијим математичким моделима може даље да се разлаже. Анализа варијације у експерименту, њено квантификовање и идентификовање свих извора варијације, може да се врши применом AMMI модела (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction*). Основ AMMI модела чини комбинација анализе варијансе (ANOVA), са којом смо се већ сусретали и анализе главних компонената (PCA). Разлику између ANOVA и PCA анализе чини то што ANOVA, као адитивни модел, разлаже адитивну компоненту, а мултиваријациону компоненту групише у један извор варијације (интеракција $G \times E$). PCA је мултиваријациони модел и прецизније разлаже мултиваријациону компоненту укупне варијације, али за разлику од ANOVA-е, не именује изворе варијације. Дакле, AMMI анализа, односно AMMI ANOVA износи главне, односно

адитивне компоненте, а затим се мултиваријациони извор варирања (неадитивна компонента варијансе) огледа, односно интеракција генотип/спољна средина додатно разлаже мултиваријационим моделом, РСА анализом. Велика предност ових модела је што могу и графички да се представе и тиме поједностављују разумевање примењених модела. На графику 1 је приказан један АММИ биplot.

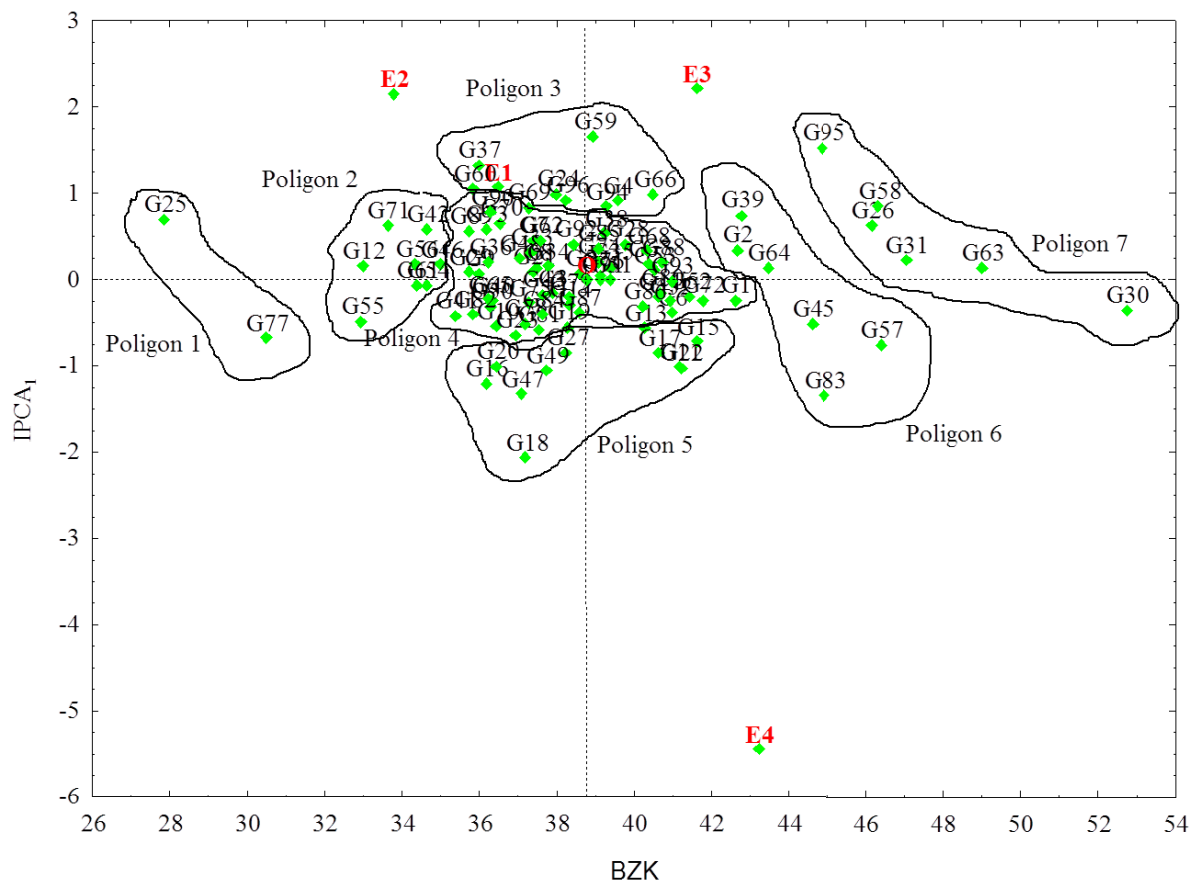


График 1. АММИ биplot са главним ефектом стављеним у однос са првом главном компонентом ГЕ интеракције (IPCA1) за 94 генотипа пшенице (*Triticum vulgare* L.) и по један генотип *T. spelta* L. (Нирвана) и *T. compactum* Host (Бамби), гајених у две године (2011/2012. и 2012/2013.) на два локалитета (Нови Сад и Сремска Митровица), при чему је E1 - Нови Сад 2011/12., E2 - Нови Сад 2012/13., E3 - С. Митровица 2011/12. и E4 - С. Митровица 2012/13.

Извор: Младенов В, 2016.

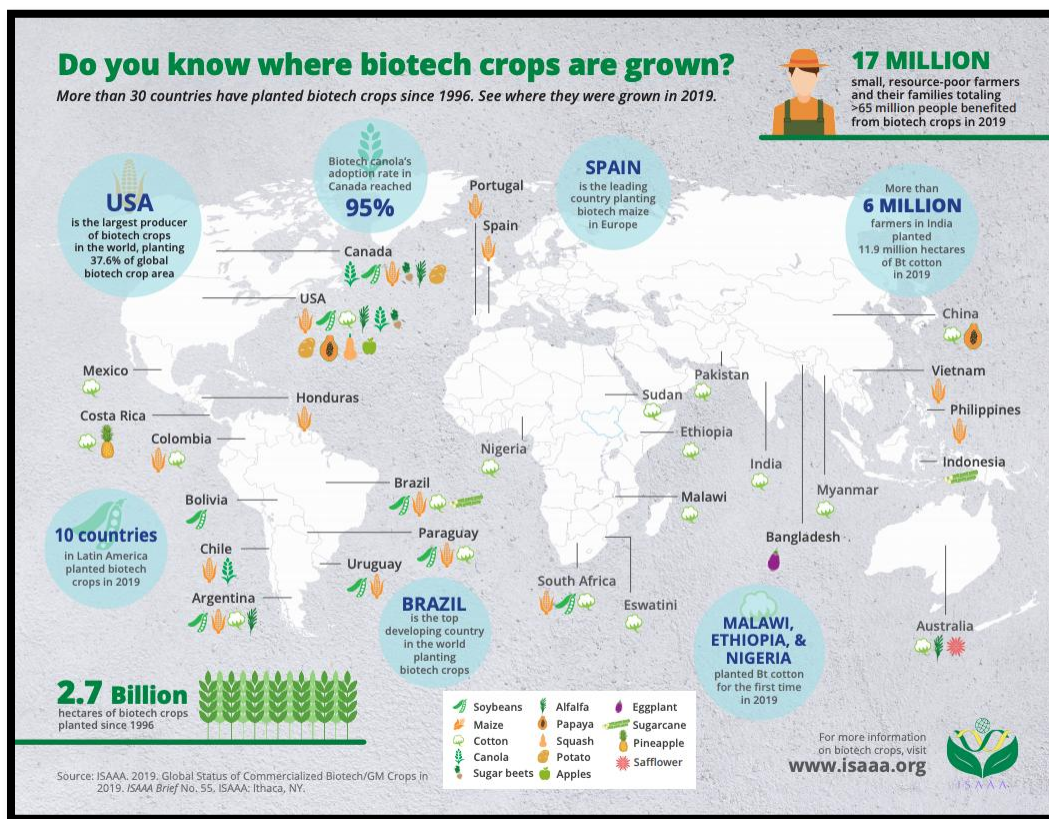
Поред тога што овакви модели могу да идентификују и квантификују изворе варијације у појединим пољским експериментима, могу и да помогну при оцени стабилности одређене особине. Као што је раније напоменуто, оплећењивачу је стало да варирање унутар особине сведе на што нижу вредност, па тиме долази до комплексног

система контроле гена који утичу на експресију те особине. Поред мултиваријационих модела честа је примена и индекса стабилности и/или индекса одрживости, који користе за израчунавања параметара и претходно описаних математичких модела, али не оптерећују толико штиво, јер упрошћавају и рангирају тестиране линије по стабилности.

8.4. Недоумице и поделе јавности око ГМ организама

Гајење сорти и хибрида који су створени осамдесетих година прошлог века и даље траје и вероватно никада неће бити заустављено, без обзира на регионе планете у којима је дистрибуција таквих генотипова ограничена. Храна произведена од таквих сорти и хибрида је у већини продавница широм Земље, међутим ГМО организми и производи од њих су били и остали предмет расправе у светској популацији. Широм интернета је могуће пронаћи палету дебата за и против коришћења ГМО организама, са врло мало научних осврта. Стога, је неопходно ову материју најпре продубити. ГМО (*Genetically Modified Organism*) је сваки организам чији је генетички материјал измењен техникама генетичког инжењеринга. Рекомбинација гена и комбиновање ДНК које је извршено методом инжењеринга ни на који начин не може да се изведе природним путем. Исто тако, да није било људске интервенције, у природи никада не би дошло стварања биљних врста у таквом облику каквом их данас познајемо, нити бисмо имали толики број сорти и хибрида широм света, при чему се овде не мисли на генетичке модификације методама инжењеринга, већ простим укрштањем. Стварање генетички модификованог организма је сложен процес који се састоји од мноштва поступака и процедура, при чему је прва изолација гена који желимо да убацимо у биљку домаћина. Данас постоји прегршт техника којим је овај процес олакшан и врло једноставан. Но, са укључивањем ГМ техника у оплећењивање биљака дошло је и до стварања крајњих производа од ових сировина и у великом броју земаља на почетку је долазило до побуне и бриге да ли ће измена у генима биљака домаћина довести до стварања небезбедне хране за човечанство. Иако овакве тврдње нису имале научна упоришта, међу произвођачима здраве хране и људима окренутим природи овај став је наилазио на све више присталица. Најчешће генетички

модификовани организми су: кукуруз, соја, уљана репица, кромпир, памук и парадајз. Европско законодавство захтева да сировине у чијем су саставу биљке модификоване на овај начин буде посебно означено. Постоје захтеви удружења потрошача да се ова област боље уреди и да се пропишу строжи услови код коришћења ГМО. Са друге стране проблем светске глади је пред вратима у 21. веку и гајењем мање количине квалитетније хране сигурно нећемо успети да решимо тај проблем. ГМ технике доводе до повећавања приноса ратарских усева, побољшања квалитета прехранбених производа (дуже трајање), побољшавање отпорности ратарских усева на болести и према штеточинама, на ниске температуре и сушу и генерално бољу адаптабилност усева. На пољу здравствене заштите ГМ организми би могли да обезбеде јефтинију производњу лекова и вакцина, а заштита околине би била подигнута на виши ниво микробиолошким чишћењем загађених водотока. Данас се овим видом пољопривреде, гајећи ГМ организме бави преко 17 милиона пољопривредних произвођача. Већина њих је у развијеним земљама света. Укупно више од 60 земаља увози или гаји ГМ производе. Земље у којима је највиши промет ових производа су: САД, Бразил, Аргентина, Канада и Индија. Аргентина је крајем 2020. одобрила чак и употребу НВ4 трансгену пшеницу, компаније Биоцерес, која је отпорна на сушу и подноси хербицид натријум-глуфосинат.



Слика 44. Мапа прихваћености ГМ у 2019.

Извор: [GMO answers](http://GMOanswers.com), 2024.

Процена ФАО организације је да ће у Африци број становника до 2050. године бити 2.2 милијарде људи. Овај континент поред проблема великог броја људи има и проблем што је најизложенији климатским променама и глобалном загревању. Светски агрономски стручњаци се слажу да је ГМ спасоносно решење за овај континент. Канада, САД, Аргентина, Аустралија, Кина и Мексико су првих 6 земаља које су почеле да гаје ГМО 1996. године. Од тада 10 најзаступљенијих биљних врсти је произведено на милионима хектара и остварена добит се процењује на преко 120 милијарди долара. Иако је Европска Комисија 2010. издала званично саопштење да ГМ организми нису ништа опаснији од организама који су настали конвенционалним опелемењивањем, мали број европских земаља дозвољава неограничену трговину и промет производима који имају у саставу овако модификоване организме (*The main conclusion to be drawn from the efforts of more than 130 research projects, covering a period of more than 25 years of research, and involving*

more than 500 independent research groups, is that biotechnology, and in particular GMOs, are not per se more risky than e.g. conventional plant breeding technologies). Европске земље које дозвољавају гајење и неометан промет ГМ организмима су: Шпанија, Португалија, Словачка, Чешка, Румунија и Пољска. Немачка је дозволила употребу ГМ кромпира са већим садржајем шећера, само за индустријску употребу. Иако је у нашој земљи на снази закон који регулише ГМО, критички осврт многих научењака из поља агрономије каже да је далеко од савршеног и свакако ће у будућности да доживи неке промене, које ће морати бити усклађене са европском политиком и државном агендом развоја пољопривредног сектора.

9. ПРЕГЛЕД ЗАКОНСКЕ ЛЕГИСЛАТИВЕ У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ И ЕВРОПСКОЈ УНИЈИ

9.1. Важећа ГМО легислатива

У нашој земљи је на снази правно обавезујући акт, Закон о генетички модификованим организмима (Сл. Гласник 41/2009) чији члан 2. каже да ниједан модификован живи организам, као ни производ од генетички модификованог организма не може да се стави у промет, односно гаји у комерцијалне сврхе на територији Републике Србије. Надаље, Закон тврди и прописује да се ГМО не сматра пољопривредни производ биљног порекла који количински садржи до 0.9% примеса ГМО и примеса пореклом од генетички модификованог организма. Међутим, уколико је реч о семенском и репродуктивном материјалу, они се не сматрају ГМО уколико количински садрже до 0.1% примеса ГМО и примеса пореклом од ГМО.



Слика 45. Поље ГМ кукуруза у САД-у
Извор: [Пинтерест](#), 2022.

Важни појмови који се стално користе у ограничавању трговине и промета ГМ робом су дефинисани такође Законом. Неки од њих су:

- генетички материјал је део биљке, животиње, гљиве или микроорганизма, вируса или вириоида који садржи наследну информацију
- генетички модификован организам је организам чији је генетички материјал промењен методама савремене биотехнологије²
- инцидент је сваки догађај који доводи до неконтролисаног ослобађања ГМО у животну средину, а до ког долази приликом употребе у затвореним системима и намерног увођења у животну средину ГМО, који може да представља непосредну или одложену опасност за живот и здравље људи и животну средину
- корисник је правно лице, предузетник или физичко лице који употребљава генетички модификован организам или производ од ГМО у затвореним системима и приликом намерног увођења у животну средину
- методи савремене биотехнологије су *in vitro* технике нуклеинских киселина, укључујући и рекомбинантну дезоксирибонуклеинску киселину (ДНК) и директно уношење нуклеинских киселина у ћелије или органеле и фузија ћелија изнад таксономског нивоа фамилије, које превазилазе природне репродуктивне или рекомбинационе баријере и нису технике које се користе у традиционалном оплећењавању и селекцији (класичне методе)
- модификовани живи организам (*living modified organism-LMO*) је сваки генетички модификован организам или производ од генетички модификованог организма који је способан за размножавање и пренос генетичког материјала, укључујући и стерилни организам који је способан за раст
- мониторинг је планирано и систематско праћење и надзирање генетички модификованог организма, његове употребе у затвореним системима, праћење поступка намерног увођења у животну средину, праћење и надзирање животне

² С обзиром да су ГМ организми у науци присутни од краја седамдесетих година двадесетог века, нису потребне модерне биотехнолошке технике, стога закон је потребно прилагодити том сазнању.

средине у коју је генетички модификован организам уведен, као и могућих штетних ефеката на животну средину и здравље људи

- намерно увођење у животну средину је ограничено увођење генетички модификованог организма ради извођења огледа, демонстрационих огледа и развоја нових варијетета
- ненамерно увођење у животну средину је случајно испуштање модификованог живог организма у животну средину услед непредвиђеног догађаја, несреће, неправилног руковања, складиштења и друго
- овлашћена лабораторија је правно лице које врши испитивање генетички модификованог организма и производа од генетички модификованог организма
- производ од генетички модификованог организма је сваки производ који се састоји, односно садржи, односно добијен је од једног или више генетички модификованих организама, без обзира на степен обраде
- процена ризика је научна процена која се спроводи по принципу "случај по случај" која подразумева идентификацију могућих штетних ефеката од генетички модификованог организма или производа од генетички модификованог организма по здравље људи и животну средину до којих може доћи приликом употребе у затвореним системима и намерног увођења у животну средину. Приликом процене ризика мора се поштовати принцип предострожности
- руковање је дорада, прерада и складиштење генетички модификованог организма или производа од генетички модификованог организма
- стваралац је правно лице, предузетник или физичко лице које ствара генетички модификован организам или производ од генетички модификованог организма
- употреба у затвореним системима је свака операција којом се генетички модификован организам или производ од генетички модификованог организма узгаја, размножава, складишти, транспортује, одлаже, уништава или на било који други начин користи у простору који је одвојен физичким препрекама или се комбинацијом физичких, хемијских, односно биолошких препрека онемогућава контакт генетички модификованог организма са спољним светом и њихов утицај на животну средину.

За разматрање стручних питања која се односе на ГМО надлежан је министар, који поступа по саветима државне управе, односно стручног савета за биолошку сигурност. Стручни Савет ради по принципу "случај по случај", у свом раду се руководи подацима који су засновани на научним сазнањима и поштује принцип предострожности.

Послови стручног Савета су следећи:

- 1) процењује тачност података из пријаве која се подноси за издавање одобрења за употребу у затвореним системима и за намерно увођење у животну средину на основу приложене документације, при чему се користе подаци из светске праксе;
- 2) врши процену ризика при намерном увођењу у животну средину;
- 3) даје стручно мишљење министарству надлежном за послове пољопривреде (у даљем тексту: Министарство) о испуњености услова за добијање дозволе за употребу у затвореним системима;
- 4) даје стручно мишљење Министарству о испуњености услова за давање одобрења за намерно увођење у животну средину;
- 5) разматра резултате намерног увођења у животну средину;
- 6) разматра предлоге за измену прописа о ГМО;
- 7) разматра друга стручна мишљења која се односе на ГМО и производе од ГМО.

У моменту писања уџбеника није дозвољено стављати у промет робу која потиче од генетички модификованих организама, но то не значи да није дозвољено користити ГМ организме у истраживачке сврхе и да није дозвољено поседовати генетички модификован материјал. Постоје посебна одобрења за употребу у затвореним системима и за увођења у животну средину. Члан 10 закона каже: *Поступак за издавање одобрења за употребу у*

затвореним системима и за намерно увођење у животну средину покреће се на основу пријаве ствараоца, корисника или њиховог овлашћеног заступника у Републици Србији (у даљем тексту: подносилац пријаве). Пријава садржи:

- 1) опис ГМО;
- 2) пословно име, седиште и адресу правног лица или предузетника, име, пребивалиште и јединствени матични број грађана физичког лица, односно лично име и адресу њиховог овлашћеног заступника;
- 3) локацију на којој се ГМО уводи у животну средину;
- 4) план и методе надзора ГМО и производа од ГМО, као и план мера за случај инцидента;
- 5) процену ризика по здравље људи и животну средину.

Пријава се подноси и у случају када је ГМО добијен укрштањем два или више ГМО применом класичних метода.

Пријава се подноси Министарству, а одобрење у форми решења издаје министар. Министар ближе прописује садржину и образац пријаве за употребу у затвореним системима и за намерно увођење у животну средину ГМО и производа од ГМО, као и начин заштите поверљивих података из пријаве.

Као и у семенској производњи најважнија ствар у овој врсти бављења пољопривредом је систем контроле. Испитивање ГМО и ГМО производа у циљу идентификације и квантификације генетичке модификације врши лабораторија која је овлашћена од стране министарства. Лабораторија мора да испуњава прописане услове, да буде акредитована и да има овлашћење министра да се бави контролом робе. Одобрење о коришћењу ГМО у затвореним системима се издаје правном лицу у виду дозволе. Правно лице мора да формира стручно тело за процену ризика приликом употребе у затвореним системима и да испуњава услове у погледу стручног кадра, објекта и техничке опремљености прописане овим законом и прописима донетим на основу овог закона.

Министар прописује услове за рад стручних тела за процену ризика, као и ближе услове које правно лице мора да испуни у погледу стручног кадра, објекта и техничке опремљености. Употреба у затвореним системима класификује се у четири степена ризика:

- 1) употреба уз занемарљив ризик - први степен;
- 2) употреба уз мали ризик - други степен;
- 3) употреба уз значајан ризик - трећи степен;
- 4) употреба уз велики ризик - четврти степен.

Класификација у одређене степене ризика врши се на основу предузетих мера сигурности у складу са условима прописаним овим законом и прописима донетим на основу овог закона. За сваки прекогранични промет ГМО који се намерно уводи у животну средину ради извођења огледа, демонстрационих огледа и развоја нових варијетета примењују се све обавезе које се по Картагена протоколу о биолошкој заштити³ уз Конвенцију о биолошкој разноврсности односе на први прекогранични промет ради намерног увођења у животну средину. План надзора који подносилац пријаве за намерно увођење у животну средину ГМО доставља уз пријаву обавезно садржи и начин поступања са отпадом. Министар прописује начин израде плана надзора и методе надзора ГМО, начин израде плана мера за случај инцидента и садржину процене ризика за намерно увођење у животну средину. Приликом руковања, паковања и превоза, укључујући и превоз преко целе територије Републике Србије, ГМО и производ од ГМО прати документација која мора да садржи податке који јасно указују да се ради о ГМО и производу од ГМО. За употребу у затвореним системима документација мора да садржи услове и захтеве за безбедно руковање, превоз и употребу, место за прибављање информација, укључујући име и адресу појединца, односно установе којој је поверен ГМО. За намерно увођење у животну средину документација мора да садржи идентитет и одговарајуће карактеристике ГМО и производа од ГМО, услове за безбедно руковање,

³ Картагена протокол о биолошкој заштити уз конвенцију о биолошкој разноврсности је интернационални споразум о биолошкој безбедности на снази од 2003. године. Код нас је у употреби Закон о ратификацији Картагена споразума о биолошкој заштити уз конвенцију о биолошкој разноврсности (Сл.Лист 16/2005).

складиштење, превоз и коришћење, као и место за прибављање информација. Министар прописује начин руковања, паковања и превоза ГМО и производа од ГМО. Контролу и надзор у име министарства спроводи инспекција преко фитосанитарних и ветеринарских инспектора. Надзор над радом овлашћене лабораторије у обављању поверених послова испитивања ГМО врши Министарство. Фитосанитарни инспектор има следећа задужења:

- 1) проверава употребу у затвореним системима и намерно увођење у животну средину за које је дато одобрење;
- 2) проверава да ли овлашћена лабораторија испуњава услове за испитивање ГМО и производа од ГМО;
- 3) проверава мере сигурности приликом намерног увођења у животну средину;
- 4) проверава спровођење плана мера и плана надзора приликом намерног увођења у животну средину;
- 5) проверава начин вођења евиденције и документацију која прати ГМО и производ од ГМО;
- 6) узима узорке за испитивање ГМО и производа од ГМО;
- 7) узима узорке ради утврђивања присуства недозвољених ГМО или производа од ГМО;
- 8) проверава поступање са отпадом који садржи, састоји се, добијен је или који је настао употребом ГМО.



Слика 46. Лого организација које не одобравају употребу ГМ производа
Извор: [Feed Navigator](#)

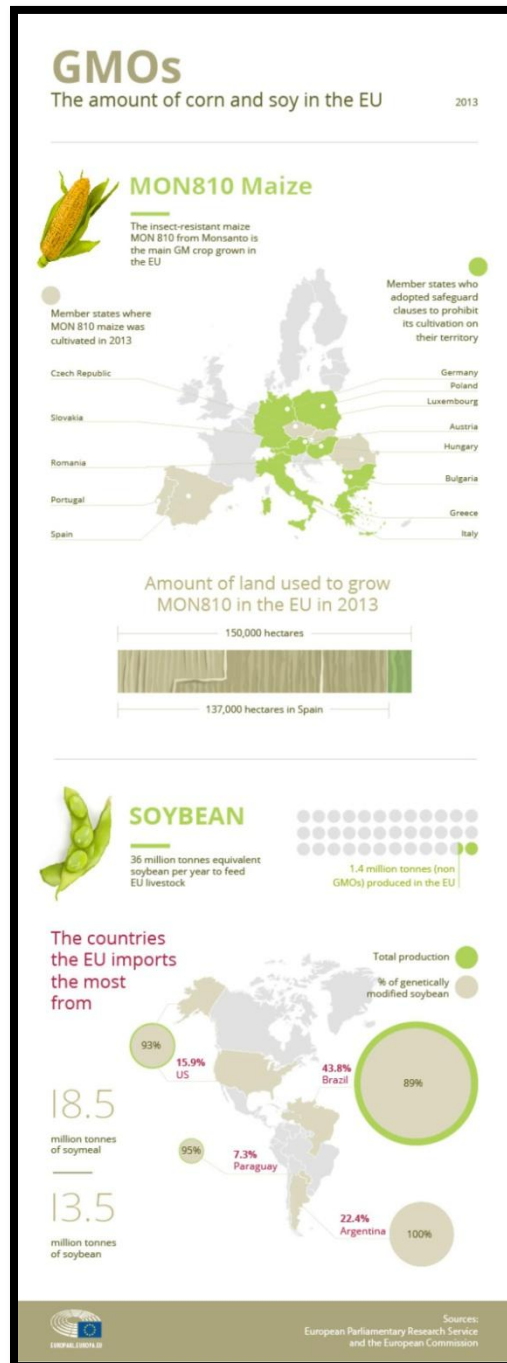
Сваки држављанин наше земље мора да поштује законске мере о неупоребљавању ГМ производа и организама. *Ко противно одредбама овог закона започне да употребљава ГМО и производ од ГМО у затвореним системима, намерно уводи у животну средину, ставља у промет, гаји у комерцијалне сврхе или одлаже у животну средину и тиме проузрокује штетне последице по здравље људи и животну средину, казниће се за кривично дело затвором до три године.*

Развој регулаторних оквира је покренут од стране научника и био је кључан у развоју и примени ГМ усева. Истраживачи су желели да играју кључну улогу у покушају да се процене сви ефекти употребе трансгених биљака и могућих ризика. По мишљењу бројних научника коришћење ГМ усева је безбедно и у погледу животне средине и са аспекта исхране. Трансгене биљке су подвргнуте детаљним анализама од када су у употреби, а поготову пре комерцијализације у земљама широм света и њихово коришћење одобриле су бројне независне агенције. У ову сврху многе земље су развиле посебне комисије или панеле за ГМ надзор у оквиру постојећих регулаторних органа, као што је EFSA (*European Food Safety Authority*), при Европској унији. У Бразилу је основана национална техничка комисија за биолошку безбедност, док су САД поделили регулаторну улогу на Агенцију за лекове (FDA), Агенцију за заштиту животне средине (EPA) и Министарство пољопривреде (USDA). Без обзира да ли је у некој земљи дозвољено или није коришћење оваквих организама, јасно је да је легислативом увек уређено на који начин се присуство трансгених организама контролише.

9.2. ЕУ легислатива о новим техникама у оплемењивању биљака

Законска легислатива о употреби и коришћењу ГМ организама у ЕУ, као и о дозвољеним оплемењивачким техникама је и даље веома нејасна и неуређена. Но, у удбенику ћемо се базирати на предлоге Европској комисији од јула 2023. и начинима како легислатива може да се боље уради и припреми. Претпоставља се да ће у току неколико

наредних година да дође до стабилније регулативе у вези истраживања и употребе ГМ организама. Тренутна легислатива каже да су дозвољена научна истраживања у поменутом пољу, док је за ширу употребу потребна посебна дозвола. По незваничним изворима, само прва таква дозвола је издата за кукуруз MON 810 и то 1998. године. Током 2013. године највеће површине под генетички модификованим усевима су биле у Шпанији, али су били присутни и у Португалији, Чешкој, Румунији и Словачкој.

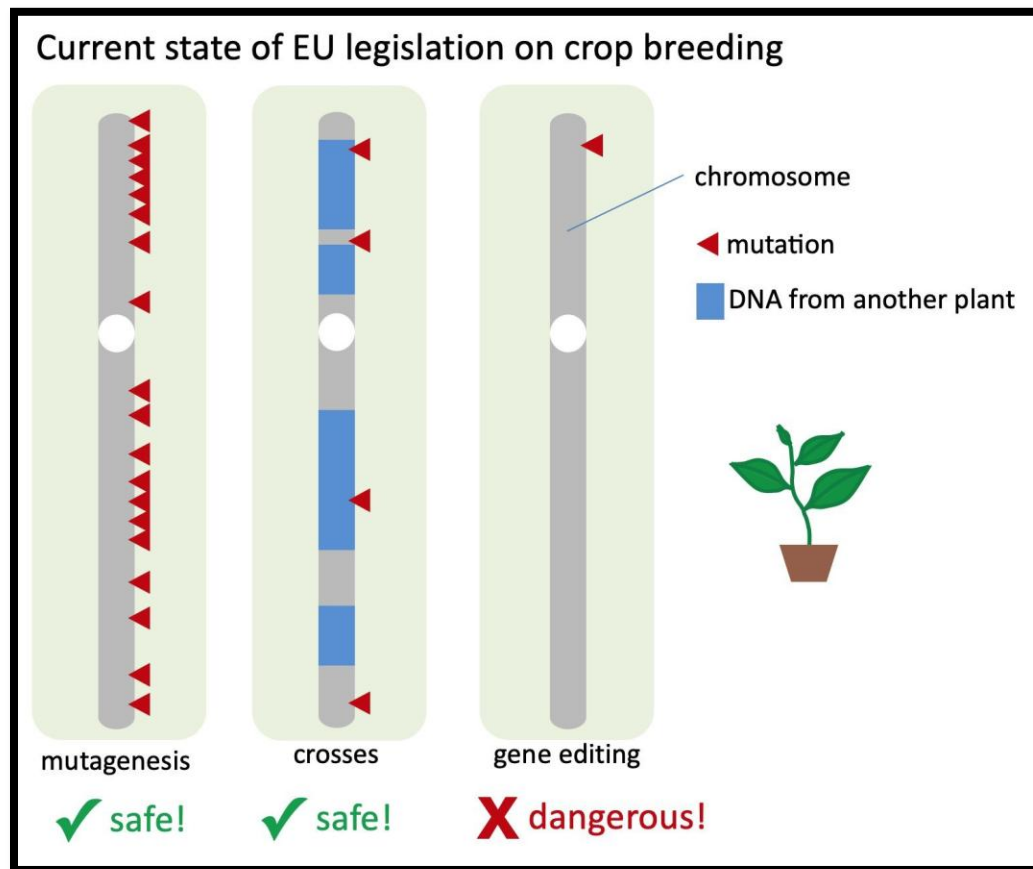


Слика 47. Распрострањеност и употреба ГМ производа
Извор: Европска Комисија, 2025.

Исте године осам земаља чланица ЕУ: Немачка, Аустрија, Бугарска, Луксембург, Пољска, Мађарска, Грчка и Италија су забраниле гајење ГМ организама на својој територији. Тренутно има осам захтева за признавање и употребу ГМ биљака на

територији ЕУ, које су у процедури. До сада на територији ЕУ је издато 58 дозвола за употребу ГМО пре свега кукуруза, памука, соје, репе и уљане репице како за људску исхрану, тако и за исхрану стоке. Извори кажу да се трагови ГМ организама много више налазе у сточној храни, него у храни за људе, но обавеза сваког произвођача хране и намирница је да прописно обележи да храна може да садржи трагове ГМО.

Предлог који се тренутно разматра од јуна 2023. године у Европској комисији односи се на исправке Регулative 2017/625 и посебан осврт се даје NGT (New genomic techniques), односно геномској селекцији која даје и отвара нове могућности да се умножава биљни материјал који поседује жељене особине од интереса за даље оплећењивачке процесе. На слици испод приказана је тренутна ситуација која говори да је безбедно и законито користити мутагенезу, као и уносити ДНК других врста у нови организам, али није дозвољено користити технику *gene editing*, која уз помоћ „утишавања“ гена има много мекши приступ, јер експресију непожељних гена манипулише на врло примерен начин.



Слика 48. Тренутно стање ЕУ легислативе у вези са оплећењавањем биљака
Извор: Европска Комисија, 2023.

Но, циљ поменутог предлога је управо да реши овакве несугласице и да уједначи и дефинише боље технике које могу да се користе у оплећењивачким процесима. Конфузна легислатива отежава посао оплећењивачима широм Европе и понекада се R&D (истраживачки) центри селе у земље трећег света, да не би наилазили на препреке које морају да се решавају судским путем. Циљ Европске комисије је да задржи висок ниво заштите људи и животиња, окружења и животне средине, као и поштовање *Green Deal*-а.

9.3. Закон о заштити права оплемењивача биљних сорти Р. Србије

Овај закон је у Србији на снази од јуна 2009. године и као такав регулише услове, начин и поступак за заштиту права оплемењивача биљних сорти, који је од огромног значаја за сваког у читавом оплемењивачком послу. Заштита права оплемењивача обухвата услове за додељивање права оплемењивача, поступак за додељивање права оплемењивача, изузетке од права оплемењивача, пренос права и уступање права, престанак права оплемењивача као и заштиту оплемењивача. Ради праћења стања у области заштите права оплемењивача, разматрања стручних питања, давања стручних мишљења и предлога, као и учешћа у реализацији пројектних задатака у области заштите права оплемењивача, министар надлежан за послове пољопривреде, у складу са прописима којима се уређује државна управа, решењем оснива посебну радну групу – Стручни савет за заштиту права оплемењивача биљних сорти. Право оплемењивача додељује се оплемењивачу сорте. Ако су два или више оплемењивача заједно створили или открили и развили сорту имају једнако право на заштиту права оплемењивача. Ако су два или више оплемењивача, независно један од другог, створили или открили и развили сорту, право оплемењивача има оплемењивач који је први поднео захтев за додељивање права оплемењивача биљне сорте. Право оплемењивача додељује се ако је сорта нова, различита, униформна, стабилна, што је већ објашњено раније у уџбенику и ако испуњава услове за давање имена сорте, у складу са одредбама овог закона. Сорта се сматра новом ако на дан подношења захтева за додељивање права оплемењивача биљне сорте репродукциони или убрани материјал те сорте није продат или на други начин отуђен од стране оплемењивача или уз његову сагласност, а ради њеног коришћења у Републици Србији дуже од једне године или на територији друге државе дуже од четири године, односно дуже од шест година у случају винове лозе, дрвенастих воћних врста и осталог дрвећа.

Сорта се сматра новом и ако је отуђена на неки од следећих начина:

- 1) уговором о преносу права на сорту правном следбенику;

2) уговором о отуђењу материјала сорте између привредних друштава повезаних капиталом где је једно од тих привредних друштава власник другог или између привредних друштава која су у власништву трећег привредног друштва, под условом да отуђење материјала сорте није у сврху коришћења сорте;

3) уговором на основу кога се у име оплећењивача умножава репродукциони материјал сорте и на основу кога се власништво умноженог материјала враћа оплећењивачу;

4) уговором на основу кога се предузимају испитивања на огледном пољу и у лабораторији, ради вредновања сорте. Сорта се означава именом које је њена својствена ознака.

Име сорте:

1) мора бити такво да се на основу њега може извршити идентификација сорте;

2) не може се састојати само од бројева, осим у случају када такав начин означавања сорте представља уобичајену праксу;

3) мора бити такво да не доводи у забуну или проузрокује недоумице у погледу особина, вредности или идентитета сорте, односно идентитета оплећењивача, а нарочито се мора разликовати од сваког имена које на територији других чланица UPOV-а носи нека друга сорта која припада истој или блиској биљној врсти. Оплећењивач је дужан да у захтеву за додељивање права оплећењивача биљне сорте предложи име сорте. Поступак за додељивање права оплећењивача биљне сорте покреће се на основу захтева за додељивање права оплећењивача биљне сорте који оплећењивач, односно његов овлашћени заступник подноси Министарству (у даљем тексту: захтев за додељивање права оплећењивача). Уз захтев оплећењивач, односно његов овлашћени заступник дужан је да достави документацију о стварању сорте и предлог имена сорте, а на захтев Министарства дужан је да достави и одговарајуће узорке репродукционог материјала сорте ради испитивања, у циљу утврђивања испуњености услова за додељивање права оплећењивача. Материјал сорте за коју је поднет захтев за додељивање права оплећењивача и приложена документација сматрају се службеном тајном и са њима се поступа као са поверљивим подацима. По пријему захтева за додељивање права оплећењивача, Министарство утврђује да ли је захтев уредан и да ли испуњава услове прописане овим законом. Ако утврди да захтев није уредан, Министарство ће, уз навођење разлога, позвати оплећењивача, односно

његовог овлашћеног заступника да у року од 60 дана од дана пријема обавештења отклони утврђене недостатке. Ако оплећењивач, односно његов овлашћени заступник у одређеном року не отклони недостатке, министар ће захтев закључком одбацити. Закључак је коначан и против њега се може покренути управни спор. Регистар захтева нарочито садржи:

- 1) име и презиме оплећењивача, односно његовог овлашћеног заступника;
- 2) адресу пребивалишта, односно седишта оплећењивача, односно његовог овлашћеног заступника;
- 3) предложено име сорте и биљну врсту;
- 4) датум и време подношења захтева за додељивање права оплећењивача.

Подаци из Регистра захтева су јавни, осим података који се сматрају поверљивим. Решење министра је коначно и против њега се може покренути управни спор. Министар прописује ближу садржину и начин вођења Регистра захтева. Оплећењивач који је уредно поднео захтев за додељивање права оплећењивача код надлежног органа друге чланице UPOV-а има право приоритета на додељивање права оплећењивача у Републици Србији у периоду од 12 месеци од дана подношења првог захтева, с тим што се дан подношења првог захтева не рачуна у овај период. Ради стицања права приоритета на додељивање права оплећењивача оплећењивач је дужан да се приликом подношења захтева за додељивање права оплећењивача позове на приоритет првог захтева и да у року од три месеца од дана подношења захтева за додељивање права оплећењивача Министарству достави:

- 1) доказ о дану приоритета, који се састоји од копије документације поднете приликом подношења првог захтева, оверене од стране надлежног органа коме је тај захтев поднет;
- 2) узорке или друге доказе на основу којих се може утврдити да је сорта, која је предмет оба захтева, иста.

Ако Министарство призна право приоритета на додељивање права оплећењивача, захтев за додељивање права оплећењивача сматра се поднетим на дан подношења првог захтева. Оплећењивач може у року од две године од дана истека периода коришћења права приоритета на додељивање права оплећењивача, а у случају да

је први захтев одбијен или повучен, у року од 12 месеци од дана одбијања или повлачења првог захтева, да достави Министарству све потребне податке, документацију или материјал који је потребан за испитивање сорте. На основу резултата испитивања и предлога Стручног савета министар доноси решење о додељивању права оплемењивача или одбијању захтева за додељивање права оплемењивача, у року од 30 дана од дана давања предлога од стране Стручног савета. Решењем о додељивању права оплемењивача одобрава се име сорте. Сорта за коју је оплемењивачу додељено право оплемењивача уписује се у Регистар заштићених биљних сорти, који води Министарство.

Регистар заштићених биљних сорти нарочито садржи:

- 1) име сорте и биљну врсту;
- 2) име и презиме оплемењивача;
- 3) адресу пребивалишта, односно седишта оплемењивача;
- 4) датум додељивања права оплемењивача.

Подаци из Регистра заштићених биљних сорти су јавни. Списак заштићених сорти са подацима о имену сорте и биљној врсти, оплемењивачу, његовом пребивалишту, односно седишту, броју и датуму решења о додељивању права оплемењивача и другим подацима објављује се у „Службеном гласнику Републике Србије”. Право оплемењивача на заштићену сорту траје 25 година, а за кромпир, винову лозу, дрвенасте воћне врсте и остало дрвеће 30 година од дана додељивања права оплемењивача. Оплемењивач има право да његово име, односно назив буде назначен у захтеву за додељивање права оплемењивача, списима, регистрима, исправама и публикацијама. Репродукциони материјал заштићене сорте може да се користи само на основу овлашћења носиоца права оплемењивача и под условима и ограничењима које је носилац права оплемењивача одредио, и то за активности које се односе на:

- 1) производњу или репродукцију, односно умножавање заштићене сорте;
- 2) кондиционирање за репродукцију заштићене сорте;
- 3) понуду заштићене сорте на продају;
- 4) продају или други вид пласмана заштићене сорте на тржишту;

5) извоз или стављање у слободан промет заштићене сорте;

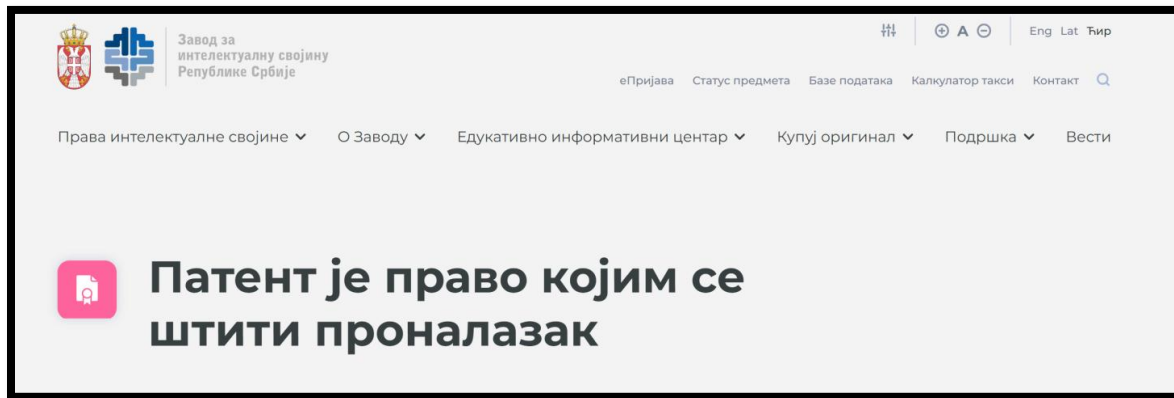
6) складиштење за било коју намену

Носилац обавезне лиценце дужан је да носиоцу права оплећењивача плаћа накнаду за коришћење заштићене сорте, коју споразумно одређују обе стране. Ако се стране не споразумеју, висину и начин плаћања накнаде утврдиће надлежни суд.

Бављење интелектуалним и уметничким радом као што је оплећењивање биљака и стварање нових сорти и хибрида је богатство не само оплећењивача или семенске куће, већ и читаве нације. Због тога је овај закон и читава регулатива представљена у овом поглављу од велике важности и усклађивање будућих треба да буде од интереса како за оплећењивача, тако и за крајњег корисника сорте или хибрида.

9.4. Заштита нових биљних сорти патентним правима

У предходном подпоглављу је објашњено на који начин оплећењивач може да заштити своју интелектуалну својину правним актом у виду закона и важеће регулативе. Међутим, исто је могуће учинити и патентним правом. Патенти су мање заступљени у нашој земљи, при чему треба разликовати патент од техничког решења. Уколико истраживач заштити процес који до сада није устаљен у нашој земљи, он пријављује свој проналазак за техничко решење, међутим уколико је резултат сорта или хибрид, он има право да га региструје и као патент. Основни разлог из ког би истраживач или оплећењивач уопште желео да заштити нови генотип овим путем је уколико је користио биотехнолошке методе и геномску селекцију и са лакоћом ће моћи да утврди да ли је недвосмислено дошло до преузимања патента или не.



Слика 49. Републички вебсајт за заштиту проналазака
Извор: [ЗИС](#), 2025.

Патентна права на локалном нивоу, и на међународном нивоу, не искључују Закон о заштити права оплећењивача, али постоје делимичне недоречености када се поступа по једном, када по другом. Патентно право је у предности када је спор у току, јер уз помоћ њега надлежни суд може да донесе одлуку о обустави извоза семена спорног генотипа, док не дође до коначног решења, док претходно поменути закон то не може. САД су највише одмакле у овом пољу, јер су од тридесетих година прошлог века отпочеле процес заштите проналазака, укључујући ту и биљке које се размножавају генеративним путем. Тамо сваки живи организам ког је створио човек у процесу оплећења квалитетује се као материјал који може да се заштити патентом. Европска канцеларија за патенте региструје патенте одобрене у националним канцеларијама земаља чланица и тиме даје легитимитет свим патентима и сортама путем европске конвенције и патентима. Путем патентног права могу да се поднесу захтеви за нове биљне сорте или хибрида.

9.5. Закон о семену и пратећи правилници

Иако је постојећи Закон о семену у нашој земљи на снази и даље, у процесу писања је тренутно нови закон о семену који има за циљ да свима који су укључени у производњу и контролу семенске производње олакша поступке и смањи администрацију при овом

стратешки важном послу. Овај документ се зове Закон о семену и објављен је у Службеном Гласнику Републике Србије 45/2005 године. Овим законом су уређени услови и начин производње, дораде, коришћења, промета, увоза и испитивање квалитета семена пољопривредних биљака, расада пољопривредних биљака и мицелија јестивих и лековитих гљива, као и признавање новостворених домаћих сорти и одобравање увођења у производњу страних сорти и упис сорти у регистар пољопривредних биљака у Регистар сорти. Овај закон се не бави ГМ организмима, јер је истовремено у Србији усвојен закон којим је то ближе регулисано. Закон пре свега дефинише важне појмове и категорије семена. Затим, ближе објашњава производњу семена, односно ко може и на који начин да се бави семенском производњом. Шта је потребно да физичко/правно лице поседује да би могло да уђе у овај процес и на кој начин је потребно да води евиденцију. Следећи део закона регулише питања ко контролише производњу семена и коме ресорно министарство може да повери послове од интереса за Републику Србију. Како се врши дорада, паковање, декларисање и остали поступци су сви дефинисани законом у семенској производњи и о њима ће детаљно бити речи у уџбенику из Семенарства. Један од два најважнија правилника овог закона је Правилник о контроли производње семена, садржини и начину вођења евиденције о производњи расада пољопривредног биља и обрасцу извештаја и производњи мицелија јестивих и лековитих гљива, објављеног у СГ РС 60/2006. У овом правилнику је ближе објашњено како се пријављује семенски усев, на који начин се контролише и колико пута за сваку биљну врсту. Колика је потребна изолација код самооплодних и странооплодних биљака, као и када се семенски усев неће признати.

Правилник о квалитету семена пољопривредног биља (Сл. Лист СФРЈ 47/87) дефинише методе за испитивање квалитета семена и норме које семе мора да испуни да би се нашло у промету. Квалитет семена у погледу здравственог стања мора да испуњава услове прописане о здравственом стању усева и објеката, семена и садног материјала. Испитивањем квалитета семена се утврђују: чистоћа, клијавост, влага и здравствено стање, а за одређене биљне врсте енергија клијања, маса 1000 семена и друге особине. Правилник дефинише врсте узорака, као и њихову величину, величине партије семена, број узорковања, паковања, декларисање семена, као и методе за испитивање квалитета и норме квалитета семена. Закон о здрављу биља (Сл. Гласник РС, 41/09) уређује заштиту и унапређење здравља биља, мере за спречавање уношења, откривања, спречавање и

сузбијање штетних организама, фитосанитарну контролу, услове за производњу и прераду биљака, биљних производа, као и услове у области заштите здравља биљака. Пратећи правилник је Правилник о здравственом прегледу усева и објеката за производњу семена, расада, и садног материјала и здравственом прегледу семена, расада и садног материјала (Сл. Гласник РС, 66/06).

10. ПРОИЗВОДЊА СЕМЕНА

10.1. Категорије семена

У свакој пољопривредној производњи усева, на нивоу једне земље постоји две врсте: меркантилна и семенска. Свака производња која нема за циљ производњу семена, које ће бити законски регулисано и касније пуштено у промет је меркантилна. Поред такве врсте производње постоји и ратарска производња која је много захтевнија и не зависи само од произвођача и назива се семенска производња. Наиме, да би студент разумео ово поглавље мора да поседује општа знања из организације семенарства у Републици Србији. Укрштањем различитих родитеља оплећењивач у некој семенској кући, долази до новог генотипа. Након низа година оплећењивач постаје задовољан чистоћом и стањем тог генотипа, те његов следећи задатак постаје да приступи поступку признавању генотипа. Када се одређени генотип призна од стране ресорног министарства добија се сорта/хибрид. Министарство пољопривреде ставља сорту на сортну листу и од тог момента је она доступна као роба на тржишту. Семе које је оплећењивач створио се назива *оплећењивачево семе* и као такво она није законска категорија семена. Највећи проблем оплећењивача или семенске куће у том моменту је што тог семена има врло мало и што је потребно што пре да се умножи што већа количина, не би ли могло да се прошири по тржишту. Количина семена која се створи од оплећењивачевог семена је највиша законска категорија семена и зове се **предосновно семе** (*Закон о семену*, Сл. гласник РС; 45/2005). Ту категорију већином стварају семенске куће унутар својих поседа. Закон каже да је предосновно семе елита самооплодних биљних врста, самооплодне линије, суперелита кромпира и семе родитељских компоненти. Производи га и одржава одржавалац, а користи се за производњу основног семена. У промету је означено етикетом беле боје са дијагоналном линијом розе боје. Одржавалац сорте је оплећењивач или произвођач који одржава сорту по прописаним методама и гарантује да је сорта остала непромењена током

одржавања и да је као таква униформна и стабилна. Када произвођач посеје и одржава предосновно семе, од тог семена долази до стварања **основног семена** које је врло често на продајним полицама.



Слика 50. Шема сертификације семена у Србији
Извор: Младенов, 2020.

По закону основно семе је оригинал самооплодних биљних врста, компоненти хибрида и елите кромпира. Производи се под контролом министарства надлежног за послове пољопривреде и користи се за производњу следеће генерације семена. У промету је означено етикетом беле боје. Од основног семена се добија сертифициковано семе прве генерације, врло често називано Ц1 семе. Сертифициковано семе прве генерације је прва сортна репродукција самооплодних биљних врста, прва генерација хибрида и оригинал кромпира, која се користи за производњу семена друге генерације. Производи се под контролом министарства и у промету је означено етикетом плаве боје. У највећем броју случајеве када произвођач купи семе од семенске компаније је ово категорија семена коју добија и сеје за меркантилну производњу. Сертифициковано семе друге генерације, познато под називом Ц2 је друга сортна репродукција самооплодних биљних врста и прва сортна репродукција кромпира. Производи се под контролом министарства и у промету је означено етикетом црвене боје. Производњом семена може да се бави привредно друштво које је уписано у регистар произвођача семена, расада, мицелија јестивих и лековитих гљива. Поред привредних друштава, где спадају национални институти, семенске куће и остале компаније, семе може да производи и физичко лице. Међутим, физичко лице може

да производи одређене категорије семена за неку семенску компанију на основу закљученог уговора о сарадњи.

10.2. Контрола семенске производње

Као што је већ напоменуто раније семенска производња се одвија под контролом Министарства пољопривреде, кроз Пољопривредних стручних служби. Основна разлика између меркантилне и семенске производње је та што производња семена подлеже обавезној стручној контроли. Стручном контролом се утврђује порекло употребљаваног семена, врста, сорта и категорија. Као што је већ речено, семенска компанија је та која производи категорију предосновно семе и читава производња је под контролом те компаније. Но, стручну контролу свих осталих категорија семена спроводи министарство преко ПСС. Служба која може да врши послове стручне контроле је она која има запосленог инжињера пољопривреде, смер ратарски, повртарски или општи, као и инжињера смера заштита биља (фитомедицина) са најмање пет година радног искуства на пословима контроле и положен стручни испит. Лице које може да врши надзор и преглед је пољопривредни инспектор, међутим из ранијих времена остао је у употреби и назив апробатор, који не мора нужно да буде запослен у ПСС-у. Произвођач је дужан да поднесе пријаву за вршење контроле министарству у року од 15 дана од дана завршетка сетве, а најкасније до 31.12. за јесење сетве и 30.06. за пролећне сетве. Министарство прописује начин и поступак вршења контроле, образац пријаве за контролу производње, образац записника и контроли у току производње, образац уверења о признавању семенског усева, садржину и начин вођења евиденције о признавању семенског усева. Све трошкове сноси произвођач. Сви детаљи семенске производње и њене контроле су дефинисани *Правилником о контроли производње семена, садржини и начину вођења евиденције о производњи расада пољопривредног биља и обрасцу извештаја о производњи мицелија јестивих и лековитих гљива*, издатог у Сл. Гласнику.

Образац бр. 1

Пријава за контролу производње семена

Назив и адреса произвођача

ПРИЈАВА
за контролу производње семена

На основу члана 14. Закона о семену ("Службени гласник РС", број 45/2005) пријављујемо семенски усева
_____ ради стручне контроле производње.

I. ПОДАЦИ О ПОДНОСИОЦУ ПРИЈАВЕ:

- Редни број уписа у Регистар произвођача
семена, расада, мицелија јестивих и лековитих гљива: _____
- Округ и седиште произвођача: _____
- Одговорно лице које руководи процесом производње: _____
- Број телефона: _____
- Датум подношења пријаве: _____

II. ПОДАЦИ О СЕМЕНСКОМ УСЕВУ

- Сорта/хибрид/линија: _____
- Категорија семена: _____
- Порекло употребљеног семена: _____
 - Број и датум уверења о признавању семенског усева
(за семе из увоза OECD сертификат или сертификат о сортности земље извознице): _____
 - Број и датум декларације о квалитету семена: _____
- Површина - ha: _____
- Предусев: _____
- Место производње: _____
 - Назив и катастарски број парцеле: _____
 - Округ, општина и катастарска општина: _____
- Датум сетве-сађење: _____

Подносилац пријаве

Потпис одговорног лица

Слика 51. Пријава за контролу производње семена

Извор: [Министарство пољопривреде, водопривреде и шумарства](#), 2024.

Правилник каже да се врста, сорта, категорија и порекла употребљеног семена и семена у семенском усева утврђује на основу уверења о признавању семенског усева и декларације семена, а семе из увоза на основу сертификата о сортности семена (OECD⁴), сертификата о квалитету семена (ISTA⁵) и уверења о здравственом стању семена (фитосертификат), као и прегледом усева у току вегетације када су најбоље испољене

⁴ OECD – *Organisation for Economic Co-operation and Development*. Сертификат је документ о сортности семена у међународном промету.

⁵ ISTA – *International Seed Testing Association*. Овај сертификат је документ о квалитету партије семена у међународном промету.

карактеристике сорте. Правилник обавезује и вођење евиденције о предусеву, примењеним агротехничким мерама, просторној изолацији, степену закоровљености, општем стању и униформности усева, полагања и сортној чистоћи. За сваку врсту, односно сорту се врши одређени број прегледа у току вегетације на начин и под условима прописаним јединствени методи за вршење контроле производње семена пољопривредног биља. Јединствени методи за вршење контроле производње семена семенских усева жита су подељени у три групе. **Прву** групу чине стрна жита, у које министарство убраја пшеницу, јечам, овас, раж и тритикале. Правилник утврђује да су код свих стрних жита обавезна два прегледа у току вегетације. Први преглед се врши између класања, односно метличења и цветања биљака. Овим прегледом се потврђује локација парцеле, предусев, просторна изолација, чистоћа врсте, односно сорте, присуство корова, изглед и уједначеност усева. Други преглед се врши када су биљке у воштаној зрелости. Овим прегледом се утврђује проценат примеса других врста и сорти, здравствено стање семена, присуство корова, чистоћа сорте, изглед и полагање усева и процена приноса натуралног семена (недорађено и недеklarисано семе). Усев стрних жита се неће признати као семенски ако се утврди да је просторна изолација мања од прописане (за пшеницу, јечам и овас просторна изолација је 1 метар. За раж је просторна изолација 100 метара, а за тритикале 300 метара). Затим, уколико је усев лежао на више од 20% у време другог прегледа, ако је неуједначеност усева на више од 30% површине у време другог прегледа, уколико у усеву има дивљег овса или прилепаче, уколико чистоћа семена не одговара задатим, уколико у усеву има других врста стрних жита, уколико су предусев била стрна жита, уколико је закоровљеност већа од оцене 1. **Другу** групу чине просолика жита (кукуруз, просо, сирак) У овом уџбенику биће ближе објашњен само кукуруз од просоликих жита, с обзиром да у Србији заузима највеће површине. У производњи самооплодних линија и сорти кукуруза су обавезна најмање три прегледа. Први преглед се врши у време када биљка развије пет до седам листова, при чему се утврђује локација парцеле, просторна изолација, предусев, идентитет засејане линије према најави, начин сетве, присуство корова и уједначеност усева. Други преглед се врши у време избијања метлица када се утврђује присуство атипичних биљака. Трећи преглед се врши пред бербу и њиме се утврђује оплодња, здравствено стање, проценат атипичних клипова и процењује се принос семена. Усев самооплодне линије и сорте се неће признати: уколико је просторна изолација мања од 200 метара, уколико је у

усеву у време другог прегледа било више од 0,1% атипичних биљака, уколико је предусев био кукуруз или сирак, уколико је усев оцењен као неуједначен, уколико је закоровљеност већа од оцене 1. У производњи сертификованог семена хибрида кукуруза и основног семена родитељских хибрида који се користе за производњу тролинијских и четворолинијских хибрида је обавезно најмање шест прегледа. Први преглед се обавља у време када биљка развије пет до седам листова (утврђивање локације), други пре избијања метлица (проценат атипика на обе родитељске компоненте), трећи, четврти и пети за време опрашивања, када се контролише да ли су уклоњене метлице на мајчинској компоненти и атипичи на оцу. Шести преглед се врши у клипу на пребирној траци када се утврђује количина натуралног семена.



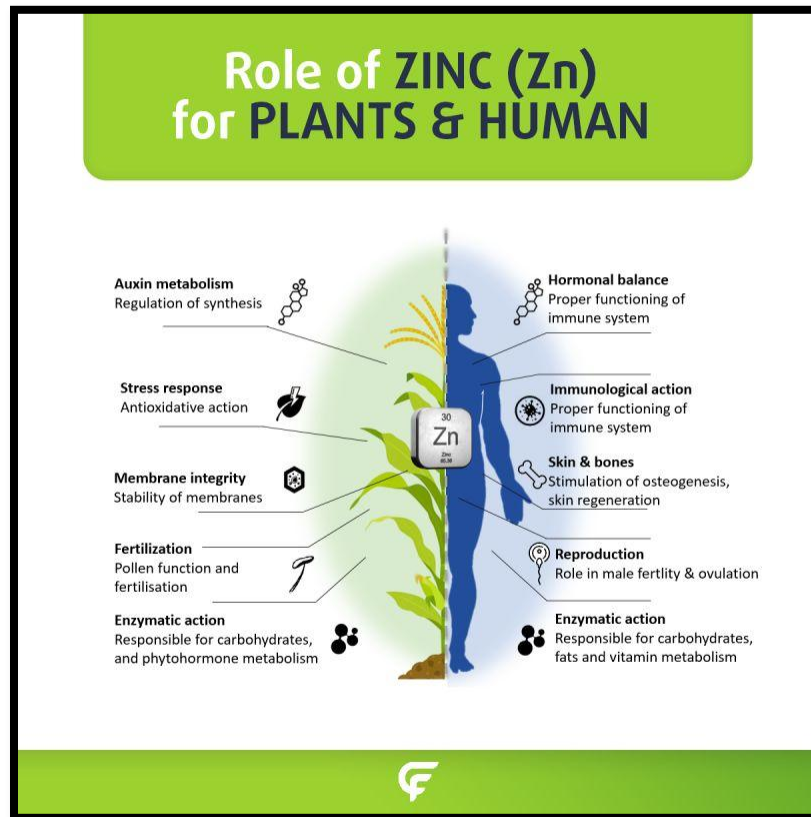
Слика 52. Усев семенске соје, сорта Максимус
Извор: [Агроклуб](#), 2023.

Трећу групу чине остала жита (хељда) код које су обавезна два прегледа, при чему се први врши у време цветања биљака, а други у воштаном зрењу. При првом прегледу се утврђује локација парцеле, предусев, чистоћа врсте, присуство корова, просторна изолација од 1000 метара и уједначеност усева. У другом прегледу се утврђује проценат примеса других врсти и сорти, здравствено стање, присуство корова, изглед и полагање усева и процена приноса натуралног семена. Производња семена индустријског биља је описана у другом поглављу Правилника, а обрађене биљне врсте су сунцокрет, соја, рицинус, лан, шећерна репа, конопља, уљана репица и уљана ротквица, дуван и мак. Треће поглавље регулише производњу семена крмног биља и четврто поврће.

10.3. Нераскидива веза оплећењивања биљака и семенарства

Мишљења су неподељена у томе да оплећењивање биљака као научна дисциплина и семенарство као стручна не могу да се раздвоје. Напор који улажу истраживачи у оплећењивању за стварање нових сорти и хибрида је огроман и вишедеценијски посао, који нико други до њих самих не може да прати. Због тога је важност семенарства немерљива, јер сав уложени рад треба да се капитализује до коначне добити. Међутим, не сме се умањити значај семенарства као струке, јер је управо то део који материјализује сав уложени рад оплећењивача. Процес стварања сорти и хибрида је дуг и за њега је потребно велико познавање свих побројаних научних дисциплина са почетка уџбеника. Поред познавања науке, оплећењивач мора да буде добар агроном, заштитар и да покрива цео аспект биолошке производње биљке, не би ли успео да на крају однегује своје почетно укрштање. Када се цео тај процес успешно заврши и материјал пошаље у комисију за признавање сорти, која за циљ има да тестира генотип у различитим агроколошким условима, оплећењивач добија од ресорног министарства решење да је линија уписана у регистар сорти и званично призната као сорта/хибрид. Основ и специфичне агротехничке мере постизања хомозиготности и одржавања чистоће сорте су исти, с тим да у почетним генерацијама оплећењивач мора да има око које увиђа фенотипске разлике и такве атипичне биљке одстрањује у целости. Пре стављања у производњу семенари још у току тестирања линије од стране министарства почињу да раде на умножавању семена. Они су ти чији посао је сада од највеће значајности, јер управо они воде рачуна о генетичкој чистоћи усева, гледају да не дође до било каквог мешања и имају за циљ да произведу здраво и квалитетно семе које ће након декларисања бити понуђено купцима за употребу. Сав труд оплећењивача може у овом моменту да падне у воду, уколико сектор семенарства не обави ваљано две основне ствари: 1) производњу квалитетног семена; 2) добар маркетиншки приступ у рекламирању. Иако је у последњих 60 година процес обезбеђивања квалитетног семена у Србији доведен до завидног нивоа, поред мањкаве законске легислативе, бројни су примери компанија у нашој земљи која има одлично семе, али недовољно присутно у медијима, средствима јавног информисања и код самих

произвођача. Отварањем тржишта страним компанијама, дошло је до потпуног заокрета и од скоро монополског тржишта и удела у тржишту од 90% за неке биљне врсте, домаће компаније су пале на испод 7%. Такве информације говоре не само да се и у остатку Европе производи добар генетички материјал, већ и да су друге компаније ослоњене на остале секторе индустрије и да су спремно дочекале улаз на тржиште наше земље. Знали су то да искористе и ситуацију у потпуности окренуле у своју корист. Ово говори у прилог чињеници, да сорту или хибрид није само довољно произвести и уписати у регистар сорти, већ и да на њеном ширењу треба радити исто колико и на њеном стварању. Иако се понекад чини да је систем страних компанија за нијансу агресивнији у приступу произвођачима, последњих десетак година је показало да је уродио плодом. Вешти заокрети у оплемењивању биљака и јачањем биофортификационог аспекта, попут коришћења визуала изузетног квалитета, као са слике, стране компаније су мало модификовале своје сорте за тржишта где је виша неухрањеност и побољшали приступ, чак и тамо где им директна продаја није ишла од руке.



Слика 53. Улога цинка у биљним врстама и бенефити које човек има од тог елемента су представљени на фотографији.

Извор: LinkedIn, 2024.

Сигурно да за једним од оваквих углова нема потребе у богатој Европи, међутим у земљама попут Пакистана и Индије, где живи више од шестине светског становништва, а један део протеина долази управо из цереалија, иако оно у свом основу нису категорисане као протеинске биљке. Производња семена у овим регионима није на европском нивоу, али с обзиром да семенарство прати оплећењавање биљака, разумљиво је да ће у наредних 30-ак година тежиште светског семенарства, такође да се премести у Азију.

На српској пољопривреди остаје да настави напорно да ради на стварању добрих сорти и хибрида, али и да учи знање којима се популаризује како компанија, тако и производ који долази до крајњих корисника. Није довољно произвести квалитетно семе

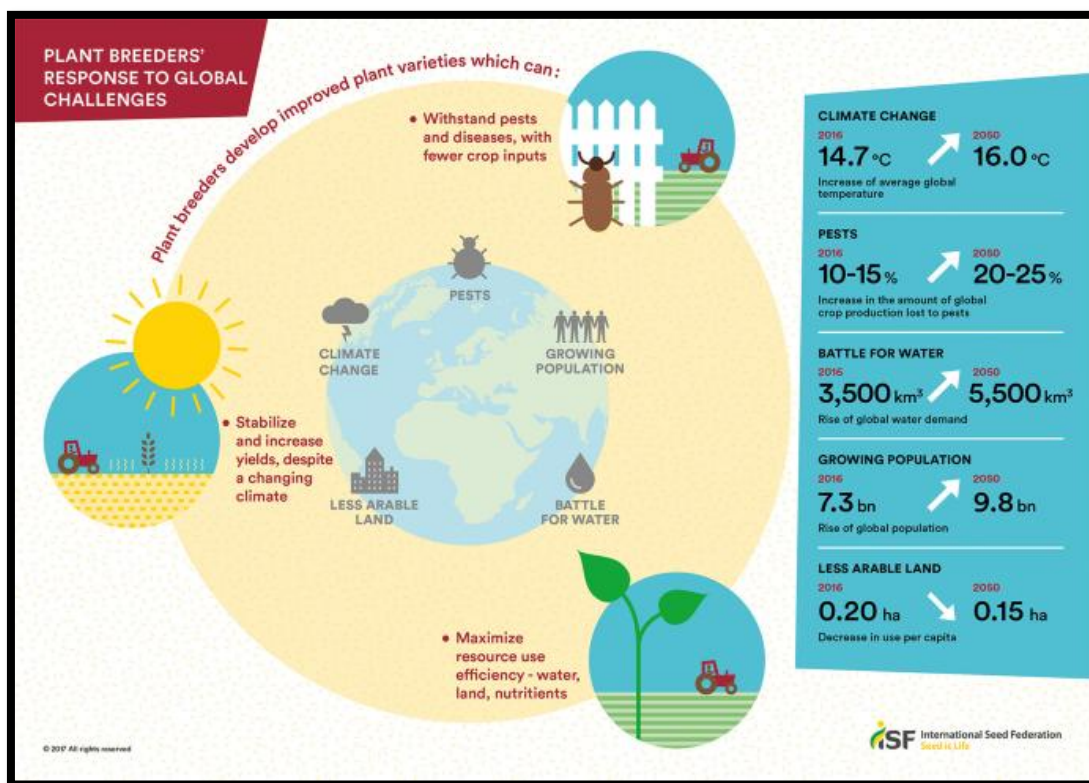
високог квалитета, познатог генетичког порекла и доброг здравственог стања, већ је потребно тако квалитетан производ упаковати и пласирати успешно на тржиште.

10.4. Зашто се људи баве оплећењивањем биљака?

Пољопривреда је основни извор хране и живота. Истина је да су се мотиви људи за бављењем овим делом агрономске науке мењали из генерације у генерацију. Уколико уопште можемо да назовемо људе из првог поглавља истраживачима, можда пре научењацима. Многи од њих нису били школовани, али су захваљујући својој радозналости и жељом за учењем, поставили темеље данашње науке и билошке струке. Одабиром најбољих, највећих плодова, најлепшег цвећа и других најрепрезентативнијих делова биљке, отпочета је несвесна селекција, која је кроз време прелазила у свесни одабир и свесну селекцију, као основ оплећењивачког процеса. Временом су људи схватили да уз та знања морају да поседују и многа друга везана за биологију врсте, не би ли јасније и конкретније извршили овај процес. Рад неких од тих научењака, признат је много година након њихове смрти, али један од мотива зашто неко жели да се бави оплећењивањем биљака је свакако и научно признање. У данашњем времену научни рад се квантификује бројем признатих сорти/хибрида, научним пројектима и бројем објављених радова. Једно вуче друго и у савременом времену признање за научни допринос увек дође у току животног века истраживача, пре или касније. Међутим, оплећењивање биљака је више од агрономије и тиме представља престиж у овом делу биолошке науке, јер не може свако да се бави овог граном пољопривреде и сматра се да је само 2% научника у пољопривреди у грани генетике и оплећењивања биљака. Потребно је уложити вишедеценијски рад, који може да оде низ воду, уколико циљ оплећењивања није у складу са тренутним потребама тржишта. Наравно, уколико ово буде препознато у правом моменту и сорта/хибрид доживи популарност код произвођача, оплећењивач биљака долази до завидног статуса у друштву, али и до новчане добити. Познавајући бројне истраживаче који се баве оплећењивањем, морам признати да су врло ретки ти којима је корист била у првом плану, а да је основни

мотив био углавном жеља за остављањем трага на планети и унапређење домаће пољопривреде.

Чињеница је да је разлог за бављење пољопривредом и опелемењивањем биљака једноставан; без ових наука не би било светске цивилизације, или не у облику какву је данас познајемо. Светска популација је прешла цифру од осам милијарди и поставља се питање, да ли ће се тај тренд наставити? Да ли ће ратови, пошасте, пандемије или глад; фактори којих има у великој мери 2025-е године збрисати део наше популације? Сви се надамо да је одговор одричан.



Слика 54. Одговор опелемењивача широм света на глобалне климатске промене, раст становништва и др.
Извор: [Jorasch, 2019](#).

У данашње време на скоро свим континентима људи се боље хране, конзумирају се веће количине хране, док се плаћа мање за дневни унос калорија него икада пре. То значи да је јединична цена сваког пољопривредног производа нижа, јер хране на тржишту има више. Опелемењивање биљака дало је много модерних алата и технологија да би се процес

стварања и умножавања биљака, а тиме и хране убрзао, што је на крају резултирало и већим количинама хране ниже цене коштања. Стога је неопходно да се рад у стварању нових генотипа препозна као стратешки важан од стране сваког министарства, институције и других фондова, које имају могућност да на било који начин подупру и помогну истраживачки рад у овом пољу.

Посебан напор Европска унија у кластеру 6, позива за Хорајзон пројекте, придаје употреби у увођењу дивљих сродника у оплећењивачке процесе. Иако је опште позната чињеница да дивљи сродници поседују бројне толерантности на нападе патогена и прекопотребну адаптабилност врсте, у претходних 50-ак година било је тешко контролисати варијабилност особина, након укрштања сродника са одомаћеном врстом. Захваљујући модерним оплећењивачким техникама и алатима, поступак је данас једноставнији и молекуларним путем је много једноставније и ефикасније унети ген од интереса и тиме одомаћену врсту, оплеменити новим извором генетичке варијабилности. Тиме се свте бори против сужавања генетичке варијабилности, али и до сужавања броја биљних култура које се гаје и које ће се гајити у будућности. Цео процес оплећењавања врти у круг, а уџбеник завршава како је и почео....Неопходно је интензивирати експедиције у руралније делове наше Планете и обогатити генетичке колекције, не би ли спасили од заборава неискоришћене варијетете и тиме обогатили истраживачке процесе, а на крају и нашу трпезу.

Коришћена и наведена литература

Acquaah, G. (2012): *Principles of Plant Breeding*. Wiley-Blackwell, Oxford, USA.

Ahloowalia, B.S. and Maluszynski, M. (2001): Induced mutations – A new paradigm in Plant Breeding. *Euphytica* 18: 167-173.

Brown J, Caligari, P., and Campos H. (2014): *Plant Breeding*. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK.

Ju-Kyung Y. and Chung Y.S. (2021): Plant Variety Protection: Current Practices and Insights. *Genes*, 12: 1127.

Noleppa S. and Cartsburg, M. (2021): The socio-economic and environmental values of Plant Breeding in the EU and selected EU member states. HFFA Research paper, GmbH.

Old R.W. and Primrose S.B. (1986): *Principles of Gene Manipulation*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.

Singh M., Albertsen M and Cigan M. (2021): Male fertility Genes in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Their utilization for Hybrid Seed Production. *Int. J. Mol. Sci.* 22, 8157.

Sleper D.A. and Poehlman J.M. (2006): *Breeding Field Crops*. Blackwell Publishing, Oxford.

Боројевић С. (1981): Принципи и методи оплећењивања биљака. Пољопривредни факултет у Новом Саду.

Вукосављевић, М. (2010): Култура антера пшенице. Задужбина Андрејевић, Београд.

Думановић Ј., Маринковић Д. и Денић М. (1985): Генетички речник. Научна књига, Београд.

Ђокић А. (1988): Биљна генетика. Научна књига, Београд.

Зоњић И. (1951): Основе селекције биља. Научна књига, Београд.

Иванчић, А. (1986): Биолошке основе и методологија хибридизације у оплећењивању биљака (интерна скрипта). Факултет пољопривредних знаности, Свеучилишта у Загребу.

Милошевић М. (2012): Заштита биљне сорте као интелектуалне својина. Семенарска асоцијација Србије и Институт за ратарство и повртарство, Нови Сад.

Милошевић М., Драгин С. и Стегић М. (2009): Биљни генетички диверзитет у пољопривреди. Пољопривредни факултет, Нови Сад.

Мишић, П. (1974): Генетика. Завод за уџбенике и наставна средства, Београд.

Мишић, Т. (1961): *Практикум за вежбе из оплећењивање биљака са семенарством*. Ауторизована скрипта. Универзитет у Новом Саду, Савез студената Пољопривредног факултета, Нови Сад.

Младенов В., Боћански Ј. и Баћац Б. (2021): Практикум из оплећењивања биљака. Пољопривредни факултет, Нови Сад.

Младенов, В. (2017): *Фенотипска и молекуларна анализа агрономских особина пшенице*. Докторска дисертација. Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Нови Сад.

Спасојевић, В. (1947): Оплећењивање биљака (техника оплећењивања). Пољопривредно издавачко предузеће, Београд.

Стебут А.И. (1939): Методика селекције. Југославија, Земун.

Шурлан-Момировић, Г., Ракоњац, В., Продановић, С., Живановић, Т. (2005): *Практикум из генетике и оплећењивања биљака*. Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет.

Биографија аутора

Велимир Младенов је рођен 1982. године у Земуну. Основно и средње образовање је стекао у Новом Саду. Пољопривредни факултет је завршио на Универзитету у Новом Саду. Дипломирао је, мастерирао и докторирао у ужој научној области Генетика, оплећењивање биљака и семенарство. Посвећен је и предан оплећењивању биљака и њеном унапређењу кроз броје европске пројекте претежно заснованим на генетичким и епигенетичким одговорима биљака на глобалне климатске промене. Унутар области ратарске производње поклања своју неподељену пажњу оплећењивању биљака, делу пољопривреде који сматра најзахтевнијим. На предмету *Оплећењивање биљака* је ангажован од 2011. године и аутор је и практикума за овај предмет. Аутор је и бројних научних и стручних радова у међународним и домаћим часописима. Члан је бројних стручних агрономских друштава, међу којима се истиче његов рад у *Семенарској асоцијацији Србије*. Члан је комисије за признавање сорти и хибрида унутар Министарства пољопривреде, шумарства и водопривреде, представник Пољопривредног факултета у НАЛЕД-у, председник Савета Пољопривредног факултета, руководиоца канцеларије за међународну сарадњу и пројекте (IRPO), руководиоца Хоризонт Европа пројекта – Клима Панонија и консултант у компанијама које се баве производњом семена кукуруза. Ожењен је и отац једног детета.

Изводи из рецензија:

проф. др Борислав Баћац

Посебна вредност овог уџбеника лежи у чињеници да је аутор значајан део посветио описима за испитивање толерантности биљака на услове ниских и високих температура, али и земљишту и атмосферску сушу. Ово је посебно важно у светлу глобалних климатских промена са којима се суочавамо. Студенти пољопривредних наука, од којих се очекује да када постану агрономи, буду стуб будућих одбрана од оваквих услова, овим уџбеником добијају својеврстан водич који ће им олакшати савладавање ових проблема...Аутор на вешт начин, постепено, студента уводи у нови свет савремене Генетике, стављајући га у функцију Оплећењивања биљака. То се, у првом реду, види из описа и везе између добро познатог начина укрштања, калемљења и недовољно изучених, нових, епигенетичких механизма.

проф. др Мирјана Љубојевић

Уџбеник је заснован на светским научним и стручним достигнућима у области оплећењивања биљака, а обогатењ је са личним научним и практичним резултатима аутора те студентима даје на једном месту све неопходно за савладавање градива из предмета „Оплећењивање биљака“... Поред значаја за студенте студијског програма Ратарство и повртарство, овај рукопис такође може послужити и као практични водич заљубљеницима у условно речено аматерско оплећењивање како би самостално могли спроводити укрштања и мини огледе.

ISBN:978-86-7520-641-5