



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ



**Департман за Фитомедицину и заштиту
животне средине**

Марина Булајић
дипл.инж. пољопривреде

БИОЛОШКА АКТИВНОСТ ЕТАРСКИХ УЉА КОРЕ ЦИТРУСА ПРОТИВ ШТЕТОЧИНА СКЛАДИШТА РЕДА COLEOPTERA

МАСТЕР РАД

Нови Сад, 2026



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ



Департман за Фитомедицину и заштиту
животне средине

Кандидат

Дипл. инж. Марина Булајић

Ментор

Проф. др. Александра Поповић

БИОЛОШКА АКТИВНОСТ ЕТАРСКИХ УЉА КОРЕ ЦИТРУСА ПРОТИВ ШТЕТОЧИНА СКЛАДИШТА РЕДА COLEOPTERA

МАСТЕР РАД

Нови Сад, 2026.

КОМИСИЈА ЗА ОДБРАНУ И ОЦЕНУ МАСТЕР РАДА:

др Александра Поповић, редовни професор

Ужа научна област: Ентомологија

Пољопривредни факултет, Нови Сад

-Ментор-

др Ружица Ждеро Павловић, ванредни професор

Ужа научна област: Хемија и биохемија

Пољопривредни факултет, Нови Сад

-Председник-

др Милица Аћимовић, научни саветник

Ужа научна област: Лековито биље

Институт за ратарство и повртарство, Нови Сад

-Члан-

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ.....	4
2.1 СКЛАДИШНЕ ШТЕТОЧИНЕ РЕДА COLEOPTERA.....	4
2.1.1 Пиринчани жијак – <i>Sitophilus oryzae</i> (Linnaeus).....	5
2.1.2 Пасуљев жијак - <i>Acanthoscelides obtectus</i> (Say).....	6
2.1.3 Мали брашнар - <i>Tribolium confusum</i> (Du Val).....	7
2.2 ЕТАРСКА УЉА.....	7
2.2.1 Етарска уља цитруса.....	8
2.2.2 Потенцијална примена етарских уља у заштити биља.....	9
3. ЗАДАТАК И ЦИЉ РАДА	11
4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА	12
4.1 ТЕСТ ИНСЕКТИ.....	12
4.1.1 Тест инсекти <i>S.oryzae</i>	12
4.1.2 Тест инсекти <i>A.obtectus</i>	13
4.1.3 Тест инсекти <i>T.confusum</i>	13
4.2 ЕКСТРАКЦИЈА ЕТАРСКИХ УЉА И ЊИХОВА АНАЛИЗА.....	14
4.3 ТЕСТ СА ОЛФАКТОМЕТРОМ	14
4.4 БИОХЕМИЈСКА ИСПИТИВАЊА.....	15
4.4.1 Припрема хомогената целих инсеката.....	16
4.4.2 Одређивање садржаја растворљивих протеина.....	16
4.4.3 Одређивање укупног антиоксидантног капацитета	17
4.4.4 Одређивање активности каталазе	17
4.5 СТАТИСТИЧКА ОБРАДА ПОДАТАКА.....	19
4.5.1 Статистичка обрада података теста са олфактометром.....	19
4.5.2 Статистичка обрада биохемијских параметара.....	19
5. РЕЗУЛТАТИ ИСТАРЖИВАЊА.....	21

5.1	КВАЛИТАТИВНИ И КВАНТИТАТИВНИ ХЕМИЈСКИ САСТАВ ЕТАРСКИХ УЉА	21
5.2	ТЕСТОВИ ПРИМЕНОМ ОЛФАКТОМЕТРА	22
5.2.1	Утицај етарских уља коре лимуна и наранџе на понашање <i>S. oryzae</i>	23
5.2.2	Утицај етарских уља коре лимуна и наранџе на понашање <i>A. obtectus</i>	26
5.3	РЕЗУЛТАТИ БИОХЕМИЈСКИХ ТЕСТОВА.....	33
5.3.1	Утицај етарских уља коре лимуна и наранџе на укупан антиоксидантни капацитет тест инсеката.....	33
5.3.2	Утицај етарских уља коре лимуна и наранџе на активност каталазе код тест инсеката	34
5.3.3	Утицај етарских уља коре лимуна и наранџе на активност β - естеразе код тест инсеката	36
6.	ДИСКУСИЈА	39
7.	ЗАКЉУЧАК.....	42
8.	ЛИТЕРАТУРА.....	44

БИОЛОШКА АКТИВНОСТ ЕТАРСКИХ УЉА КОРЕ ЦИТРУСА ПРОТИВ ШТЕТОЧИНА СКЛАДИШТА РЕДА COLEOPTERA

Марина Булајић

РЕЗИМЕ

У мастер раду је испитивана биолошка активност етарских уља коре наранџе и лимуна против *Sitophilus oryzae*, *Acanthoscelides obtectus* и *Tribolium confusum* применом олфактометра и биохемијских тестова. У тесту са олфактометром, испитиван је утицај различитих количина етарских уља (50, 70 и 90 μ L) на понашање инсеката. Извршена су биохемијска испитивања (укупан антиоксидантни капацитет и активност каталазе и бета-естеразе) инсеката са испољеним knock-down ефектом након 24 часа изложености парама етарских уља.

Уље лимуна испољава репелентност при свим количинама код *S.oryzae* и *T.confusum*, док за *A.obtectus* остаје неутрално. Уље наранџе показује константну репелентност за *S.oryzae*, код *A.obtectus* делује тек на 90 μ L, док код *T.confusum* губи ефекат на 90 μ L услед десензитизације олфакторних рецептора.

Уље лимуна код *S.oryzae* смањује активност каталазе и β -естеразе, док је код *A.obtectus* повећава. Код *T.confusum* третмани нису имали статистички значајан утицај на каталазу. Уље наранџе смањује активности оба ензима код *S.oryzae*, β -естеразе код *T.confusum*, док код *A.obtectus* потискује активност каталазе.

Кључне речи: етарско уље, складишне штеточине, биолошка активност, *Citrus limon*, *Citrus sinensis*

BIOLOGICAL ACTIVITY OF CITRUS PEEL ESSENTIAL OILS AGAINST STORED-PRODUCT PESTS OF THE ORDER COLEOPTERA

Marina Bulajić

SUMMARY

In this master thesis, the biological activity of orange and lemon peel essential oils was investigated against *Sitophilus oryzae*, *Acanthoscelides obtectus*, and *Tribolium confusum* using olfactometer and biochemical bioassays. In the olfactometer bioassay, the influence of different volumes of essential oils (50, 70, and 90 μL) on insect behavior was evaluated. Biochemical analyses (total antioxidant capacity and activity of catalase and β -esterase) were conducted on insects exhibiting a knockdown effect after 24 hours of exposure to essential oil vapors.

Lemon oil demonstrated repellency across all doses in *S.oryzae* and *T.confusum*, while remaining neutral for *A.obtectus*. Orange oil showed constant repellency against *S. oryzae*, was active only at 90 μL in *A.obtectus*, and lost its effect at 90 μL in *T.confusum* due to olfactory receptor desensitization.

Lemon oil decreased catalase and β -esterase activities in *S.oryzae*, whereas it increased them in *A.obtectus*. In *T.confusum*, treatments had no statistically significant effect on catalase activity. Orange oil reduced the activity of both enzymes in *S.oryzae*, decreased β -esterase activity in *T.confusum*, and suppressed catalase activity in *A.obtectus*.

Keywords: essential oil, stored-product pests, biological activity, *Citrus limon*, *Citrus sinensis*

1. УВОД

Ускладиштени пољопривредни производи, укључујући житарице, махунарке, семе уљарица, производе животињског порекла и друге трајне прехранбене производе, представљају основу глобалног ланца снабдевања храном (Nayak & Daglish, 2018; Mesterházy *et al.*, 2020). Житарице, као што су кукуруз, пиринач, пшеница, јечам и овас, и махунарке су од посебног значаја за исхрану људи и животња, будући да значајан део житарица служи и као сточна храна. С обзиром на то да се житарице и махунарке производе сезонски, након жетве се складиште током краћих или дужих временских периода како би се обезбедило континуирано снабдевање храном и сачувало семе за наредну производну сезону (Ћи, 2025). Међутим, складишта, као средине богате извором хране, представљају идеално станиште за развој бројних штеточина, пре свега инсеката и гриња, које нападају ускладиштене производе широм света. Током дугог низа година, поједине врсте су се у потпуности адаптирале на живот у затвореном простору, тако да данас цео или највећи део свог животног циклуса проводе искључиво у ускладиштеним производима. Ови организми познати су као складишне штеточине (Штрбац, 2002; Nayak & Daglish, 2018). Њихово присуство представља један од главних узрока постжетвених губитака, који настају услед директне исхране зрном, контаминацијом производа егзувијама и фецесом, смањењем нутритивног квалитета производа, подстицањем развоја плесни, укључујући и преношење патогена и токсина (Demeter *et al.*, 2021; Nikolaou *et al.*, 2021; Silwanyana *et al.*, 2025). Процењује се да су губици при складиштењу изазвани инфестацијом складишних инсеката 1-5% у развијеним државама и 20-50% у земљама у развоју. (Ћи, 2025). Смањење ових губитака постаје све значајније имајући у виду процене да ће светска популација до 2050. године достићи 9,8–10,5 милијарди становника, што ће захтевати повећање доступности хране за 60–70%. Иако ће повећање пољопривредне производње бити неопходно, унапређење заштите ускладиштених производа представља одрживији начин за обезбеђивање

прехранбене сигурности (Nayak & Daglish, 2018; Mesterházy *et al.*, 2020; Nikolaou *et al.*, 2021).

Синтетички инсектициди се годинама интензивно користе за сузбијање складишних штеточина. Неконтролисана употреба ових препарата имала је за последицу негативан утицај на животну средину и здравље човека и других живих организама, као и појаву остатака пестицида у храни изнад дозвољених количина (Бошковић, 2019). До данас је у ЕУ за контролу складишних штеточина остао регистрован мали број активних материја, међу којима су фумиганти магнезијум-фосфид и алуминијум-фосфид, као и контактни инсектициди циперметрин, делтаметрин, пиримифос-метил и пиперонил-бутоксид. Многи од синтетичких инсектицида који су се користили за сузбијање штетних инсеката ускладиштених производа повучени су са тржишта због екотоксиколошких ризика, као и појаве проблема резистентности (Nikolaou *et al.*, 2021). Растућа потражња потрошача за органским производима и храном без остатака пестицида, као и чињеница да се синтетички пестициди који се користе у конвенционалним системима складиштења не могу примењивати за заштиту органских житарица, подстакли су истраживање природних и еколошки прихватљивих алтернатива за сузбијање складишних штеточина. (Eesiah *et al.*, 2022; De Sousa *et al.*, 2026). Осим тога, у складу са Директивом 128/2009, државе чланице Европске уније обавезне су да смање употребу синтетичких пестицида и промовишу алтернативне методе заштите биља (Cagán *et al.*, 2022).

Међу најперспективнијим решењима издвајају се биљни препарати, посебно етарска уља, која су природног порекла, биоразградива, лако доступна, мање токсична за људе и нециљане организме и имају знатно мањи негативан утицај на животну средину у поређењу са синтетичким инсектицидима, због чега представљају значајну компоненту у програмима интегралне заштите ускладиштених производа. Такође, захваљујући синергистичком деловању бројних биоактивних једињења са различитим механизмима деловања, смањује се могућност развоја резистентности код штеточина (Kedia, 2026).

Имајући у виду наведено, у првом делу овог мастер рада испитиван је утицај различитих количина етарских уља коре наранџе и лимуна на понашање имага три врсте складишних штеточина *Sitophilus oryzae* (Linnaeus), *Acanthoscelides obtectus* (Say) и *Tribolium confusum* (du Val) применом двокраког олфактометра. Појединачни инсекти су

били смештени у средину арене олфактометра и посматрано је њихово кретање током 10 минута, при чему је бележено време проведено у различитим зонама олфактометра.

У другом делу огледа извршена су биохемијска испитивања (садржај растворљивих протеина, укупан антиоксидантни капацитет и активност ензима каталазе и бета-естеразе) инсеката код којих је дошло до појаве knock-down ефекта након 24 часа изложености парама етарских уља коре наранџе и лимуна у затвореним теглама запремине 720mL.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

2.1 СКЛАДИШНЕ ШТЕТОЧИНЕ РЕДА COLEOPTERA

У складиштима, силосима и таванима честа је појава складишних штеточина које својом исхраном доводе до смањења квалитета житарица и других ускладиштених производа. (Бошковић, 2019). Припадници редова Lepidoptera и Coleoptera обухватају економски најзначајније врсте штетних инсеката у складишту (Штрбац, 2002).

Ред Coleoptera представља један од највећих редова инсеката, са више од 400000 врста и око 200 фамилија (Nikolaou *et al.*, 2021). У оквиру овог реда налазе се и примарне штеточине ускладиштених житарица - жишци рода *Sitophilus* (пиринчани жижак *S. oryzae* (L.), житни жижак *S. granarius* (L.) и кукурузни жижак *S. zeamais* Motschulsky), ризоперта *Rhyzopertha dominica* (F.), као и примарне штеточине махунарки попут жишка пасуља *Acanthoscelides obtectus* (Say), бобов жижак *Callosobruchus chinensis* (L.) и четворотачкасти жижак *C. maculatus* (F.) (Nayak & Daglish, 2018). Процене су да је ова група инсеката одговорна за око 90% свих штета на ускладиштеним зрнастим производима, због чега се сматрају економски најзначајнијом групом штеточина, иако се у ову групу сврстава мали број инсекатских врста (Кљајић *и сар.*, 2016). Имага или њихове ларве имају способност да оштећују потпуно здрава зрна пшенице, јечма, кукуруза, пиринча, пасуља итд., размножавајући се и развијајући се на и у њима, стварајући при том повољне услове за напад секундарних штеточина (Штрбац, 2002). Значајне секундарне штеточине у оквиру овог реда су врсте из рода *Tribolium* (мали брашнар *T. confusum* (du Val) и кестењаста брашнар *T. castaneum* (Herbst)), суринамски брашнар *Oryzaephilus surinamensis* (L.) и врсте рода *Cryptolestes* (Nayak & Daglish, 2018). Ова група инсеката јавља се као пратилац примарних штеточина и хране се већ оштећеним зрном или производима са повећаном влагом, производима од житарица, брашном, као и чоколадом и сточном храном (Штрбац, 2002; Nayak & Daglish, 2018).

2.1.1 Пиринчани жижак – *Sitophilus oryzae* (Linnaeus)

Род *Sitophilus* (фам. Curculionidae) обухвата неке од економски најзначајнијих врста складишних штеточина као што су *Sitophilus oryzae* L. (пиринчани жижак), *S. zeamais* Motsch. (кукурузни жижак) и *S. granarius* L. (житни жижак) (Kedia, 2026).

Пиринчани жижак *Sitophilus oryzae* L. космополитска је врста, раширена по Европи, Азији, Африци, Аустралији, Северној и Јужној Америци и представља једну од најдеструктивнијих примарних штеточина ускладиштених житарица (Штрбац, 2002). Имаго је дужине 2.4-4.5 милиметра и лако се препознаје по рилици на глави, мрке је боје са четири црвенкасто смеђе мрље на елитрама (Hill, 2002; Кљајић *и сар.*, 2016). Најчешће се могу наћи у великим складиштима и силосима, где живе скривеним начином живота – ларве се развијају унутар зрна, док одрасле једике избегавају светлост, те се на тај начин лако шире и тешко примећују (Кљајић *и сар.*, 2016). Изазивају квантитативне и квалитативне штете на важним житарицама попут пиринча, пшенице, кукуруза, јечма и овса. Осим директних губитака, услед исхране ендоспермом, смањене клијавости, деградације квалитета и нутритивне вредности зрна и умањене тржишне вредности, ови инсекти доприносе и појави секундарних штета (Kedia, 2026). Њиховом активношћу долази до загревања жита и кондензације влаге услед преношења топлоте на хладнија зрна, што за последицу има проклијавање зрна и појаву секундарних штеточина и микроорганизама. Нападнуто жито се грудва и добија горак укус, због чега се не може користити у исхрани људи и домаћих животиња (Кљајић *и сар.*, 2016). Поред губитка масе зрна, присуство жижака и њихових телесних делова чини жито непогодним за даљу прераду. Према нашим прописима, у пшеници не сме се налазити више од три жива или 20 мртвих жижака у 1kg семена (Штрбац, 2002). У току свог животног циклуса *S. oryzae* пролази кроз стадијуме: јаје, ларва, лутка и имаго (Kedia, 2026). Имаго презимљава у складиштима, најчешће у пукотинама зидова и подова (Штрбац, 2002). На површини зрна, женка изгриза отвор у који полаже јаје, покривајући рупу воскастом материјом. Полагање јаја се врши при температурама 15-35 °C и садржају влаге изнад 10%. Једна женка може положити 150-300 јаја, а трајање инкубације при температури од 25°C је шест дана (Hill, 2002). Ларве се развијају у унутрашњости зрна, непокретне су и хране се његовим садржајем, након чега се улуткавају, а имага напуштају зрно кроз излазни отвор (Kedia, 2026). У једном зрну може се развити и више од једне ларве. Брзина развића и преживљавање ларви у великој мери зависе од температуре и влажности зрна (Штрбац, 2002). При повољним условима, температури од 25-30 °C и релативној

влажноти ваздуха већој од 65%, животни циклус траје приближно 4-6 недеља (Kedia, 2026). Доња температурна граница за развиће ларви износи око 13 °C, док оптимална влажност зрна за њихов развој износи 13,5-14%. Са смањењем влажноти зрна расте морталитет, те уколико је садржај воде у ускладиштеној пшеници мањи од 10%, јединке угину након приближно двадесет дана. Жишци имају 3-4 генерације годишње, а у повољним условима и до седам. У топлијим рејонима где је пиринчани жижак доминантна штеточина, до заразе може доћи још у пољу захваљујући способности ове врсте да лети из складишта у поље током летњих месеци (Штрбац, 2002; Кљајић *и сар.*, 2016).

2.1.2 Пасуљев жижак - *Acanthoscelides obtectus* (Say)

Пасуљев жижак *Acanthoscelides obtectus* Say. (фам. Chrysomelidae) представља најзначајнију штеточину пасуља *Phaseolus vulgaris* (L.). Космополитска је и олигофагна врста, те поред пасуља напада и остале махунарке (Khelfane-Goucem *et al.*, 2016). Води порекло из тропских и субтропских подручја Централне и Јужне Америке, а трговином се раширио по читавом свету. Имаго је дужине 4 милиметра, тамно смеђе боје са светлим мрљама на елитрама (Hill, 2002; Штрбац, 2002). Напад жишка пасуља почиње у пољу, када женка положи јаја у зреле махуне (Гвозденац, 2021). Након пиљења, ларве се убушују у зрно унутар махуне у ком проводе читав свој развој и потом заједно са зараженим зрном доспевају у складиште, где ће наставити даље да се размножавају (Штрбац, 2002). У складишту женке полажу у просеку 50-80 јаја на и између зрна пасуља, а у зависности од услова складишта, тај број може достићи и до 150 (Гвозденац, 2021). Исхраном ларви на котиледонима настају директне штете, при чему се у једном семену може налазити и више ларви (Hill, 2002). Главни индикатор напада ове врсте су отвори на зрну, који настају исхраном ларви у котиледонима, које изгризају овалне коморице и при крају развића потпуно огуле семењачу, остављајући карактеристичне мрље из којих имага излазе прогризајући округласте поклопце (Штрбац, 2002). Оштећена зрна губе на тежини, клијавости, квалитету и самим тим и тржишној вредности, а осим тога нису употребљива ни у људској ни животињској исхрани, услед опасности од изазивања тешких желудачних и цревних обољења (Штрбац, 2002; Гвозденац, 2021). Добро се развија при температурама између 17-31°C, а оптимални услови за развој су при температури 28-30°C и релативној влажноти ваздуха 70-80%. Целокупно развиће при повољним условима траје око месец дана (Hill, 2002; Штрбац, 2002). Годишње има 3-5 генерација, а у пољу развија само једну генерацију (Гвозденац, 2021). Захваљујући брзом

развићу и високом потенцијалу раста популације жишка пасуља, акумулирана штета у складишту може бити велика са и до 80% губитака након 6-7 месеци (Hill, 2002; Khelfane-Goucem *et al.*, 2016).

2.1.3 Мали брашнар - *Tribolium confusum* (Du Val)

Мали брашнар *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (фам. Tenebrionidae) једна је од економски најзначајнијих штеточина ускладиштених житарица и њихових производа и оштећује велики број различитих врста производа (Tiring, 2025). Космополитска је врста и најчешће се јавља у млиновима и пекарама (Бошковић, 2021). С обзиром на то да су секундарне штеточине, нападају ломљена зрна или зрна која су оштетиле примарне штеточине. Међутим, у случају повишене влаге, способни су оштетити и здрава зрна са >12% влаге (Штрбац 2002). Напада брашно, мекиње, жито, суво воће, уљарице, чоколаду и сточну храну, смањујући принос и квалитет производа својом исхраном и контаминацијом производа фецесом, кошуљицама и телима мртвих инсеката (Бошковић, 2021). Брашно на ком су се хранили добија сивкасту боју и непријатан мирис као и лошије пекарске особине (Almaši & Poslončes, 2014). Такође се могу хранити и храном животињског порекла, а неретко долази и до појаве канибализма. Развој малог брашнара може се одвијати на температурама 20-37.5°C, при чему су оптимални услови за развој 32°C уз релативну влажност ваздуха 70% . Трајање развоја при овим условима је 25 дана (Штрбац, 2002). Поред великог економског значаја, имајући у виду глобалну распрострањеност и толерантност према неким инсектицидима, *T.confusum* поседује и потенцијално значајан утицај на јавно здравље, будући да дефанзивне секреције које производи могу изазвати иритације коже као и респираторне тегобе (Kavallieratos *et al.*, 2020).

2.2 ЕТАРСКА УЉА

Етарска уља представљају секундарне молекуле биљака, који учествују у одбрамбеном систему биљака против микроорганизама, инсеката, хербивора, абиотског стреса, као и у алелопатским интеракцијама и процесима сигнализације, укључујући и привлачење полинатора и корисних инсеката (Mossa, 2016; Campolo *et al.*, 2018). То су високо комплексне смеше волатилних једињења лоцираних у секреторним структурама биљака, које им дају карактеристичан мирис или укус (Chaubey, 2019; Бошковић, 2021). Биљке које производе етарска уља називамо ароматичне биљке. У свету је описано је око 17 000

врста ових биљака, које акумулирају етарска уља у својим жлезданим трихомама, секреторним шупљинама и смолним каналима. Већина њих припада фамилијама Cupressaceae, Asteraceae, Apiaceae, Lamiaceae, Lauraceae, Myrtaceae, Rutaceae, Piperaceae, Poaceae (Campolo *et al.*, 2018; Kedia, 2026). Етарска уља могу садржати 20-60 појединачних једињења у различитим концентрацијама, при чему свако етарско уље садржи два или три главна једињења присутна у релативно високим концентрацијама (20-70%) у односу на споредне (1-20%) и у траговима заступљене састојке (<1%). Биолошка својства етарских уља генерално су дефинисана главним компонентама (Chaubey, 2019; Бошковић, 2021). За екстракцију етарских уља могу се користити различити делови биљака: листови, цветови, пупољци, коре, стабла и семена. Разликују се традиционални и савремени методи екстракције етарских уља. У традиционалне методе спадају хладно цеђење, дестилација паром, хидродестилација и екстракција растварачем. Савремене методе, развијене са циљем побољшања приноса и квалитета, као и смањењем потрошње енергије, обухватају методе као што су екстракција суперкритичним флуидима, екстракција помоћу микроталаса и ултразвучна екстракција (Campolo *et al.*, 2018; Yu, 2025). Приноси етарских уља крећу се између 0,2 и 2,0% (Бошковић, 2021). Различити фактори утичу на састав и принос етарских уља, попут генетике, фазе раста и дела биљке која се користи, географских услова и спољашње средине, пољопривредне праксе, метода екстракције итд. (Yu, 2025).

2.2.1 Етарска уља цитруса

Плодови цитруса конзумирају се широм света у свежем стању или за добијање сокова и представљају важан део свакодневне исхране код људи захваљујући својим нутритивним и антиоксидантним својствима и благотворним ефектима на људско здравље (Singh *et al.*, 2021). Поред антиоксидантних, поседују још и антимикробна, антихелминтичка, репелентна и антиинфламаторна својства (Ala *et al.*, 2023). Приликом прераде цитруса ради добијања сока настају значајне количине чврстог отпада богатог биоактивним компонентама, попут фенолних једињења, етеричних уља, каротеноида и аскорбинске киселине. Кора, која чини 50–65% укупне масе плода, представља најважнији нуспроизвод из кога се могу екстраховати различити производи, укључујући етарска уља (Ferhat *et al.*, 2007; Singh *et al.*, 2021; Ala *et al.*, 2023). Етарска уља користе се за добијање природних воћних мириса и ароме у прехранбеној, фармацеутској и козметичкој индустрији. Добијају из коре плодова, листова или цветова, различитих врста цитруса попут лимуна (*Citrus limon*), наранџе (*Citrus sinensis*), мандарине (*Citrus*

reticulata), помела (*Citrus grandis*) (González-Mas *et al.*, 2019; Silwanyana *et al.*, 2025). Најбогатији извор етарских уља код цитруса је кора, где се етарска уља накопљају у секреторним шупљинама које се налазе распоређене по спољној кори плода (флаведо) (Singh *et al.*, 2021). Главна волатилна компонента етарских уља цитруса је d-лимонен, монотерпен (Kapsaski-Kanelli *et al.*, 2017). Постоји одређен број препарата у ветеринарској медицини на бази лимонена који се користе против бува и крпеља код домаћих животиња, а такође се може користити и за сузбијање термита и мравца (Isman, 2006, 2020). Етарска уља цитруса показала су се као ефикасна природна средства за сузбијање комарца, крпеља, пољопривредних и складишних штеточина (Giunti *et al.*, 2019; Silwanyana *et al.*, 2025).

2.2.2 Потенцијална примена етарских уља у заштити биља

Пракса коришћења биљних деривата у пољопривреди датира још из периода античке Грчке, Египта, Кине и Индије (Isman, 2006). Етарска уља представљају потенцијалну алтернативу синтетичким фунгицидима, хербицидима и инсектицидима, како у пољопривредној производњи, тако и током складиштења житарица и махунарки (Yu, 2025). Додатну пажњу у савременим стратегијама сузбијања штеточина привлачи њихово природно порекло и биоразградивост, као и документована активност против великог броја инсеката, укључујући и складишне штеточине (Kedia, 2026). Постоје литературни наводи о потенцијалној употреби етарских уља добијених из фамилија биљака Asteraceae, Myrtaceae, Apiaceae, Lamiaceae и Rutaceae као биопестицида захваљујући њиховој инсектицидној активности према инсектима из редова Lepidoptera, Diptera, Coleoptera, Hemiptera и Isoptera (Mossa, 2016). Биолошко деловање етарских уља против штетних инсеката може бити фумигантно, репелентно, контактано, а такође може испољити инхибиторно деловање на исхрану, раст и развој и репродукцију инсеката (Giatropoulos *et al.*, 2012). Етарско уље оригана *O. vulgare* испољава значајну репелентну активност против *T.confusum* достижући 70% репелентности при концентрацији од 8% након сат времена изложености (Tiring, 2025). Такође, етарско уље кима *Carum carvi* показује значајну фумигациону токсичност према *T. confusum* са утицајем на антиоксидативни одбрамбени систем (Petrović *et al.*, 2019). Етарска уља *Artemisia judaica*, *Callistemon viminalis* и *Origanum vulgare* испољавају јаку контактну токсичност према *S.oryzae* (Abdelgaleil *et al.*, 2015). Од испитиваних 25 етарских уља, етарско уље белог лука *Allium sativum* се показало као најтоксичније, док су етарска уља *Gaultheria procumbens*, *Mentha arvensis* и *Eucalyptus dives* такође испољила задовољавајући ефекат

на *S.granarius* (Demeter *et al.*, 2021). На токсичност етарских уља утиче њихов хемијски састав, који зависи од више фактора попут биљног извора, годишњег доба и еколошких услова, методе и времена екстракције, као и дела биљке који је коришћен (Rajendran & Sriranjini, 2008).

3. ЗАДАТАК И ЦИЉ РАДА

Задатак овог рада био је да се испита ефекат етарског уља коре наранџе и лимуна на пиринчаног жишка (*S.oryzae*), жишка пасуља (*A.obtectus*) и малог брашнара (*T.confusum*) који представљају неке од најзначајнијих штеточина ускладиштених производа из реда Coleoptera.

Имајући у виду све већи притисак да се смањи употреба синтетичких инсектицида, због њиховог негативног утицаја на животну средину и здравље, као и појаву резистентности инсеката према инсектицидима, као једно од алтернативних решења издвајају се етарска уља која, захваљујући својим повољним особинама, заузимају веома важно место у савременим концептима биљне производње као што су органска и интегрална производња. Циљ истраживања је да се путем теста са олфактометром и биохемијским тестовима испита биолошка активност етарских уља коре наранџе и лимуна против *S.oryzae*, *A.obtectus* и *T.confusum* , као и могућности њихове примене као биолошког средства за сузбијање ових штеточина у складишту.

4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

Оглед је рађен у просторијама Пољопривредног факултета у Новом Саду: у лабораторији за ентомологију на Департману за фитомедицину и заштиту животне средине и у лабораторији за хемију на Департману за ратарство и повртарство.

4.1 ТЕСТ ИНСЕКТИ

4.1.1 Тест инсекти *S.oryzae*

Јединке *S.oryzae* коришћене у овом истраживању, узгајане су у лабораторији за ентомологију у стакленим теглама на пшеници као хранљивом супстрату (Слика 1), на собној температури. У огледу је коришћено укупно 150 одраслих инсеката *S. oryzae* (оба пола).



Слика 1. Хранљиви супстрат на ком је узгајана популација *S.oryzae*
(Фото: Марина Булајић, 2026)

4.1.2 Тест инсекти *A.obtectus*

За потребе огледа коришћени су одрасли инсекти пасуљевог жишка (оба пола), који су гајени у лабораторији у стакленим теглама на белом пасуљу и на собној температури (Слика 2). У огледу је коришћено укупно 150 одраслих јединки *A.obtectus*.



Слика 2. Хранљиви супстрат на ком је узгајана популација *A.obtectus*
(Фото: Марина Булајић, 2026)

4.1.3 Тест инсекти *T.confusum*

Јединке *T. confusum* коришћене за истраживање гајени су у лабораторији на собној температури у теглама од 2л, на мешавини пшеничног брашна тип 500 (95%) и сувог пивског квасца (5%) (Слика 3). У огледу су коришћене одрасле јединке *T. confusum* оба бола. Укупан број инсеката који је коришћен износи 150 јединки малог брашнара.



Слика 3. Хранљиви супстрат на ком је узгајана популација *T. confusum*
(Фото: Марина Булајић, 2026)

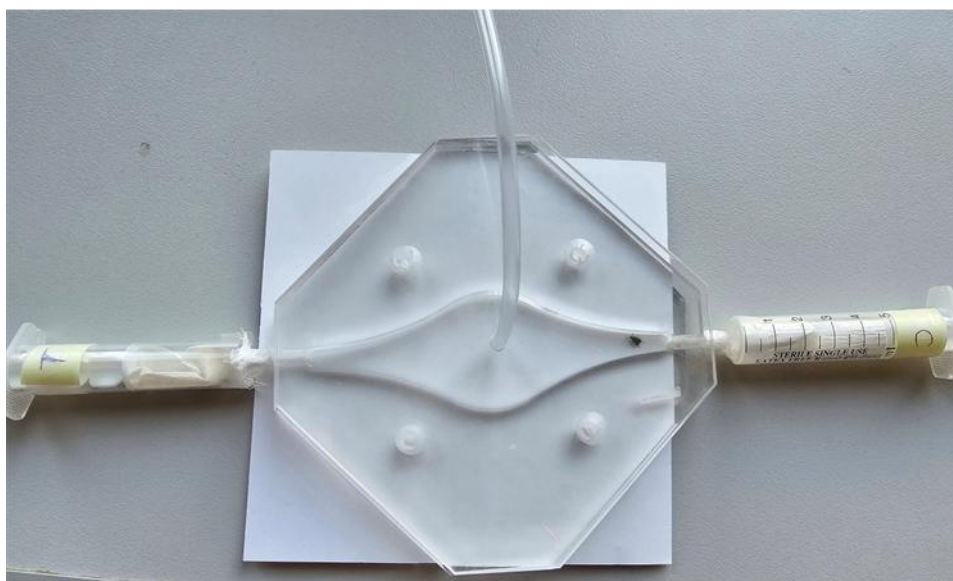
4.2 ЕКСТРАКЦИЈА ЕТАРСКИХ УЉА И ЊИХОВА АНАЛИЗА

Етарско уље је изоловано методом дестилације воденом паром, у полуиндустријском дестилатору на Институту за ратарство и повртарство у Новом Саду, департаман у Бачком Петровцу. У суд од нерђајућег челика, стављено је око 100kg отпада од цеђења сокова лимуна и наранџе, суд је херметички затворен и у њега је уведена водена пара, генерисана у високопритисном котлу. Водена пара је проласком кроз биљни материјал, понела са собом испарљива једињења, која су након хлађења и кондензације сакупљена у Флорентинској боци. Након четири часа дестилације, етарско уље је одвојено од водене фазе, пребачено у сепарациони левак ком је додат Na_2SO_4 , и потом филтрирано кроз филтер-папир. Добијено етарско уље је чувано у тамној стакленој бочици на собној температури до даљих анализа. Анализа испарљивих једињења етарских уља извршена је помоћу гасне хроматографије масене спектрометрије (GC-MS) Идентификација једињења извршена је на основу ретенционих индекса и поређењем масених спектра са референтним спектрима из база података (Aćimović *et al.*, 2025).

4.3 ТЕСТ СА ОЛФАКТОМЕТРОМ

Оглед са олфактометром постављен је по узору на методологију Đukić *et al.* (2021), уз одређене модификације. Коришћен је двокраки олфактометар, описан у раду Ninković *et al.*, (2013). На супротним крајевима олфактометра постављени су шприцеви запремине 5mL са филтер-папиром. На филтер-папир у једној грани олфактометра нането је етарско уље, док је у другој грани нанета иста количина дестиловане воде, која је представљала контролу. Помоћу вакуумске пумпе ваздух је извлачен из централне зоне олфактометра, чиме је омогућено благо струјање ваздуха из бочних зона.

У централну зону олфактометра постављана је појединачна јединка инсекта и остављена да се аклиматизује 3 минута, након чега је током наредних 10 минута праћено њено кретање и бележено време проведено у различитим зонама олфактометра. Након сваког понављања олфактометар је чишћен алкохолом ради уклањања потенцијалних трагова претходног третмана и ротиран за 180° како би се умањио утицај могуће преференције према одређеној страни олфактометра (Слика 4).



Слика 4. Посматрани тест инсект у олфактометру (Фото: Марина Булајић, 2026)

Испитивано је дејство различитих количина етарских уља коре лимуна и наранџе (50, 70 и 90 μL) на три врсте складишних штеточина: *Acanthoscelides obtectus*, *Sitophilus oryzae* и *Tribolium confusum*. За сваку комбинацију етарског уља, количине примене и врсте инсекта коришћено је 25 инсеката, при чему је једна јединка представљала једно понављање. Укупно је у експерименту коришћено 450 јединки инсеката.

4.4 БИОХЕМИЈСКА ИСПИТИВАЊА

Инсекти су стављани у стаклене посуде запремине 720 mL са поклопцима на чијој су унутрашњој страни били причвршћени филтер папири. На филтер папире су наношене различите количине етарских уља ради одређивања дозе која изазива knock-down ефекат код испитиваних инсеката након 24 часа излагања. На основу претходно утврђених доза, јединке из одговарајућих третмана коришћене су за даље биохемијске анализе.

Након 24 сата излагања, јединке код који је утврђен knock-down ефекат сакупљане су и пребациване у епендорф епрувете. За сваку испитивану врсту и третман формирану су збирни узорци укупне масе 0,1 g. Као контролна група коришћене су јединке исте врсте које нису биле изложене етарским уљима, али су током истог временског периода биле држане у идентичним условима. Узоци су потом стављани на суви лед ради брзог заустављања метаболичких процеса, а затим чувани на $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ до извођења биохемијских анализа.

У припремљеним узорцима одређивани су следећи биохемијски параметри инсеката: садржај растворљивих протеина, укупан антиоксидантни капацитет, активност ензима каталазе и бета-естеразе.

4.4.1 Припрема хомогената целих инсеката

За сваку испитивану врсту инсеката одмерено је 0,1 g узорка, који је потом хомогенизован на леду помоћу авана и тучка, уз додатак 5mL претходно охлађеног 0,1M калијум-фосфатног пуфера (pH 7.0) и кварцног песка као абразива (слика 5). Хомогенати инсеката центрифугирани су на 5000 обртаја/мин, 15 минута на 4 °C, а одвојен супернатант подељен је на аликвоте који су остављени на -20 °C до даље анализе.



Слика 5. Процес припреме хомогената инсеката (Фото: Марина Булајић, 2026)

4.4.2 Одређивање садржаја растворљивих протеина

Садржај растворљивих протеина у узорцима одређен је према методи Bradford -а (1976). Ова колориметријска метода базира се на везивању базних и ароматичних аминокиселинских остатака у молекулима протеина хидрофобним интеракцијама и јонским везама за боју *Coomassie brilliant blue* G-250 у киселој средини, при чему је интензитет настале плаве боје пропорционалан концентрацији растворљивих протеина.

Bradford-ов реагенс припремљен је растварањем 0,1 g боје *Coomassie brilliant blue* G-250 у 50 mL 90% етанола на магнетној мешалици. Смеси је затим додато 100 mL 85% фосфорне киселине, након чега је раствор разблажен дестилованом водом до 500 mL. Овако припремљен концентровани раствор чуван је у мраку и стабилан је више месеци.

Радни Bradford-ов реагенс који се користи за мерење, припремљен је разблаживањем концентрованог раствора дестилованом водом у односу 1:1, након чега је раствор процеђен кроз филтер папир. За одређивање садржаја протеина, у 2 mL овако припремљеног реагенса додато је 20 μ L пуферског екстракта, а реакциона смеша је инкубирана на собној температури током 5 минута. Апсорбанца је измерена на 595 nm. За израду стандардне криве припремљена је серија стандардних раствора албумина у концентрационом опсегу од 0 до 1,25 mg/mL. На основу добијене стандардне криве израчунат је садржај растворљивих протеина у узорцима. Садржај растворљивих протеина изражен је као милиграм протеина по граму свежје масе инсеката (mg протеина/g).

4.4.3 Одређивање укупног антиоксидантног капацитета

Одређивање укупног антиоксидантног капацитета урађено је применом FRAP методе (engl. *ferric reducing antioxidant power*). Ова метода се заснива на способности антиоксиданаса и других редукујућих једињења присутних у узорку да редукују Fe^{3+} до Fe^{2+} . Настали Fe^{2+} са TPTZ реагенсом (2,4,6 tripiridil-s-triazin) ствара плаво обојени комплекс чија се апсорбанца мери на 593 nm. Реакција се одиграва у киселој средини (pH 3,6). Метода је изведена према стандардној процедури коју су описали Benzie и Strain (1996). Екстракти су четири пута разблажени дестилованом водом, након чега је 15 μ L екстракта додато у 180 μ L радног FRAP раствора. Радни FRAP раствор припремљен је мешањем 25 mL ацетатног пуфера (pH 3,6), 2,5 mL 10 mM раствора TPTZ у 40 mmol HCl и 2,5 ml 20 mM раствора $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. За израду стандардне криве коришћен је свежје припремљен раствор $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ различитих концентрација (200, 400, 600, 800 и 1000 μ mol/L). Апсорбанца је мерена након 5 минута на 593 nm, а резултати су израчунати на основу једначине стандардне криве.

Укупни антиоксидантни капацитет изражен је као μ mol Fe^{2+} еквивалената по милиграму протеина.

4.4.4 Одређивање активности каталазе

Активност каталазе (CAT) у узорцима одређивана је методом по Aebi (1984). Метода се заснива на спектрофотометријском праћењу разградње H_2O_2 праћењем пада апсорбанце на 240 nm током 5 минута.

Слепа проба добијена је мешањем 0,05 mL екстракта ензима и 2,70 mL раствора фосфатног пуфера pH=7, концентрације 0,05 mol/L. Радна проба је добијена мешањем 2,0 mL раствора 0,05 mol/L фосфатног пуфера pH=7, 50 μ L екстракта ензима и 0,70 mL свеже направљеног раствора H₂O₂.

Раствор H₂O₂ се добија растварањем 0,17 mL 30% H₂O₂ у 50 mL 0,05 mol/L фосфатног пуфера pH=7 и додаје непосредно пред мерење.

Активност каталазе одређена је на основу смањења апсорбанце H₂O₂ у присуству екстракта ензима на 240 nm. Јединица активности каталазе (U/mg proteina) дефинише се као она количина ензима која изазива разградњу 1 μ mol H₂O₂ у периоду од 1 min на 25 °C, изражено по милиграму протеина (специфична активност).

4.4.5 Одређивање активности β -естеразе

Активност β -естеразе одређена је спектрофотометријски методом по Van Asperen-у (1962), модификованом за рад у микроплочи. Ова метода се заснива на ензимској хидролизи β -нафтил ацетата (β -NA), који у реакцији са диазонијум соли (*Fast Blue*) формира обојени азо-комплекс. Примењени тест мери укупну (неспецифичну) естеразну активност и није специфичан за ацетилхолинестеразу.

Реакциона смеша у бунарчићу микроплоче садржала је 0,10 mL фосфатног пуфера (0,1 mol/L, pH 7,0), 0,05 mL ензимског екстракта, 0,01 mL раствора β -нафтил ацетата (10 mM раствор у ацетону). Реакциона смеша је инкубирана на собној температури током 25 минута након чега је реакција заустављена додатком 0,05 mL раствора *Fast Blue* соли. Након развоја боје, апсорбанца је мерена на 540 nm помоћу читача за микроплоче.

Урађена је корекција за сваки узорак, која је садржала све компоненте као и радна проба, с тим што је уместо раствора β -NA додаван пуфер. Слепа проба реагенаса садржала је све компоненте осим ензимског екстракта. Количина ослобођеног β -нафтола одређена је на основу стандардне криве конструисане са познатим концентрацијама β -нафтола, при чему је зависност апсорбанце од концентрације коришћена за израчунавање количине продукта насталог током ензимске реакције.

Активност β -естеразе изражена је као специфична активност, односно у μmol ослобођеног β -нафтола по минути по милиграму протеина ($\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ протеина). Концентрација протеина у узорцима одређена је Bradford методом.

4.5 СТАТИСТИЧКА ОБРАДА ПОДАТАКА

4.5.1 Статистичка обрада података теста са олфактометром

Статистичка обрада података спроведена је у програму Statistica 14.0.0.15 (TIBCO Software Inc., Универзитетска лиценца). За сваку комбинацију врсте инсекта, старског уља и количине уља анализирано је време проведено у контролној (K), третираној (T) и неутралној (N) зони на узорку од 25 јединки ($N = 25$), при чему су подаци третирани као зависни узорци. Израчунати су аритметичка средина, стандардна девијација, минимум, максимум и медијана времена проведеног у свакој од испитиваних зона. Нормалност дистрибуције података испитана је Shapiro–Wilk testom, а због утврђеног одступања од нормалне дистрибуције примењене су непараметарске методе. Разлике у времену проведеном у три зоне испитане су Friedmanovim testom, а у случају статистичке значајности спроведена су post-hoc поређења Wilcoxonovim тестом за зависне узорке, уз примењену Bonferroniјеву корекцију због вишеструких поређења, при чему је ниво статистичке значајности за појединачна поређења одређен на $\alpha = 0,0167$ ($0,05/3$). Репелентно дејство дефинисано је статистички значајно дужим задржавањем јединки у контролној у односу на третирану зону ($K > T$), док је обрнут однос ($T > K$) интерпретиран као атрактивно дејство. У случајевима када разлика између контролне и третиране зоне није била статистички значајна, није потврђено ни репелентно ни атрактивно дејство третмана. Резултати су интерпретирани на нивоу статистичке значајности $p < 0,05$, док је за post-hoc поређења коришћен Bonferroniјев кориговани праг од $p < 0,0167$.

4.5.2 Статистичка обрада биохемијских параметара

Статистичка обрада биохемијских података извршена је у програму TIBCO Statistica 14. Пре примене параметријских тестова проверена је нормалност расподеле података. За процену утицаја врсте инсекта (*Acanthoscelides obtectus*, *Sitophilus oryzae* и *Tribolium confusum*), третмана (контрола, лимун и наранџа) и њихове интеракције на испитиване

биохемијске параметре примењена је двофакторијална анализа варијансе (two-way ANOVA). Када је утврђена статистички значајна интеракција између фактора, спроведена је једнофакторијална анализа варијансе (one-way ANOVA) одвојено за сваку врсту инсекта, а разлике између третмана тестиране су Tukey HSD post hoc тестом на нивоу значајности $p < 0,05$. Добијени резултати коришћени су за означавање статистички значајних разлика између третмана различитим словима на хистограмима. Резултати су приказани као средња вредност $\pm$ стандардна девијација (mean $\pm$ SD).

5. РЕЗУЛТАТИ ИСТАРЖИВАЊА

5.1 КВАЛИТАТИВНИ И КВАНТИТАТИВНИ ХЕМИЈСКИ САСТАВ ЕТАРСКИХ УЉА

Хемијском карактеризацијом утврђено је да уље коре лимуна чине 23 компоненте (Табела 1), при чему је најзаступљенија компонента био лимонен са 78.2%, потом следе γ -терпинен (9.2%), β -пинен (6.7%), α -пинен (1,4%) и мирцен (1,2%) док су остале компоненте биле заступљене испод 1%.

Табела 1. Квалитативни и квантитативни састав етарског уља коре лимуна (*C. limon*)

број	компонента	RI	RT min	садржај (%)
1	α -тујен	926	5.658	0.2
2	α -пинен	932	5.839	1.4
3	камфен	947	6.26	траг
4	сабинен	971	6.945	0.5
5	β -пинен	975	7.054	6.7
6	мирцен	989	7.439	1.2
7	α -феландрен	1006	7.951	траг
8	α -терпинен	1016	8.348	0.3
9	р-цимен	1024	8.626	0.3
10	лимонен	1029	8.832	78.2
11	(Е)- β -оцимен	1048	9.514	траг
12	γ -терпинен	1057	9.844	9.2
13	терпинолен	1089	11	0.4
14	линалоол	1101	11.527	траг
15	терпинен-4-ол	1178	14.761	0.1
16	α -терпинеол	1190	15.318	0.5
17	нерил-ацетат	1365	23.103	0.2
18	геранил ацетат	1387	24.011	0.1
19	Е-кариофилен	1420	25.406	0.2
20	α -транс-бергамотен	1436	26.099	0.3
21	α -хумулен	1454	26.85	траг
22	Валенсен	1494	28.513	траг
23	β -бисаболен	1511	29.168	0.2
Укупно идентификованих једињења				100

RI – ретенциони индекс; RT– ретенционо време

Хемијски састав етарског уља коре наранџе приказан је у табели 2. Хемијском анализом утврђено је присуство 14 различитих компоненти. Резултати показују да је монотерпен лимонен био убедљиво доминантно једињење чинећи 97.3% укупног садржаја етарског уља наранџе. Мирцен је био пратећа компонента са 1,5% заступљености, док су остале компоненте биле заступљене испод 1%.

Табела 2. Квалитативни и квантитативни састав етарског уља коре наранџе (*C. sinensis*)

број	компонента	RI	RT min	садржај (%)
1	α -пинен	932	5.843	0.5
2	сабинен	971	6.956	0.1
3	β -пинен	976	7.057	0.1
4	мирцен	989	7.44	1.5
5	α -феландрен	1005	7.948	траг
6	δ -3-карен	1010	8.115	0.2
7	α -терпинен	1016	8.39	траг
8	p-цимен	1024	8.655	траг
9	лимонен	1032	8.881	97.3
10	γ -терпинен	1058	9.9	0
11	терпинолен	1089	11.076	траг
12	терпинен-4-ол	1176	14.746	траг
13	α -терпинеол	1189	15.318	0.1
14	Валенсен	1494	28.513	0.2
Укупно идентификованих једињења				100

RI – ретенциони индекс; RT– ретенционо време

5.2 ТЕСТОВИ ПРИМЕНОМ ОЛФАКТОМЕТРА

Нормалност дистрибуције података проверена је применом Shapiro–Wilk теста. Добијена вредност теста износила је $W = 0,79334$, а $p < 0,00000$ (за $p < 0,05$), те се може констатовати да дистрибуција испитиваних података статистички значајно одступа од нормалне дистрибуције. Хомогеност варијанси проверена је Levene-овим тестом. Добијена је статистички значајна вредност теста $p < 0,001$, Нормалност дистрибуције података проверена је применом Shapiro–Wilk теста. Добијена вредност теста износила је $W = 0,79334$, а $p < 0,00000$ (за $p < 0,05$), те се може констатовати да дистрибуција испитиваних података статистички значајно одступа од нормалне дистрибуције. Хомогеност варијанси проверена је Levene-овим тестом. Добијена је статистички значајна вредност теста $p < 0,001$, што указује на статистички значајне разлике у варијансама између анализираних група, односно да претпоставка о хомогености

варијанси није задовољена, те су за даљу анализу коришћене непараметарске методе описане у поглављу Материјал и методе.

5.2.1 Утицај етарских уља коре лимуна и наранџе на понашање *S. oryzae*

Дескриптивни статистички параметри за временске резултате измерене у секундама (s) за врсту *S. oryzae* приказани су у табели 3. Највише вредности констатују се код обе врсте етарског уља при највећим количинама (90 μ L) у контролној зони што може указивати на тенденцију избегавања зоне у којој је присутно етарско уље, односно на појаву репелентног ефекта оба етарска уља.

Табела 3. Дескриптивни статистички параметри за временске резултате (у секундама) добијене за врсту *S. oryzae*

		Количина етарског уља								
		50 μ L			70 μ L			90 μ L		
		K	T	N	K	T	N	K	T	N
<i>Citrus limon</i>	Xsr	311,72	106,12	180,92	308,04	83,64	206,52	341,24	73,12	184,36
	SD	118,14	54,82	83,74	113,08	78,94	64,12	101,30	44,59	82,24
	Min.	54	0	27	31	0	64	194	0	0
	Max.	572	206	339	535	292	359	600	155	314
	mediana	299	110	187	313	61	210	330	75	204
<i>Citrus sinensis</i>	Xsr	276,16	136,12	185,20	257,80	131,16	208,40	375,12	77,04	146,04
	SD	144,09	108,11	103,37	128,56	61,83	94,28	89,64	49,81	65,13
	Min.	0	0	0	0	0	27	210	0	25
	Max.	600	491	436	561	266	448	574	182	311
	mediana	283	115	165	255	135	199	380	67	147

Код јединки врсте *S. oryzae*, након излагања етарском уљу лимуна при најнижој количини (50 μ L), Friedmanov тест је показао статистички значајне разлике у временуведеном у контролној, третираној и неутралној зони ($p < 0,001$). Wilcoxonov тест показао је постојање статистички значајних разлика између контролне и третиране зоне ($p < 0,001$), контролне и неутралне ($p = 0,0164$), као и третиране и неутралне ($p < 0,001$) (Табела 4). Медијана временаведеног у контролној зони износила је 299 s, у неутралној 187 s, а у третираној зони 110 s (Табела 3). С обзиром на значајно дуже задржавање јединки у контролној у односу на третирану зону, резултати указују на репелентно дејство етарског уља лимуна при количини од 50 μ L према *S. oryzae*.

Табела 4. Резултати Wilcoxonovog теста за етарско уље лимуна у количини од 50 μL за врсту *S.oryzae*

Тестирани парови	Z	p	Значајност
K-T	4,000000	0,000063	*
K-N	2,400000	0,016395	*
T-N	4,000000	0,000063	*

(-): нема значајности; (*): статистички значајно за Bonferroniјев кориговани праг од $p < 0,0167$

Као и у претходном случају, при количини уља од 70 μL , Friedmanov тест је показао статистички значајне разлике у времену проведеном у контролној, третираној и неутралној зони ($p < 0,001$). Wilcoxonov тест је показао статистички значајне разлике између контролне и третиране зоне ($p < 0,001$), контролне и неутралне ($p = 0,0014$), као и третиране и неутралне зоне ($p < 0,001$) (Табела 5). Значајно дуже задржавање јединки у контролној у односу на третирану зону указује на изражено репелентно дејство етарског уља лимуна према *S. oryzae* при количини уља од 70 μL с обзиром да је медијана времена проведеног у контролној зони износила 313 s, у неутралној 210 s, а у третираној зони 61 s (Табела 3).

Табела 5. Резултати Wilcoxonovog теста за етарско уље лимуна у количини од 70 μL за врсту *S.oryzae*

Тестирани парови	Z	p	Значајност
K-T	3,600000	0,000318	*
K-N	3,200000	0,001374	*
T-N	4,400000	0,000011	*

(-): нема значајности; (*): статистички значајно за Bonferroniјев кориговани праг од $p < 0,0167$

При највећој количини (90 μL) етарског уља лимуна, Friedmanov тест је истакао статистички значајне разлике у времену проведеном у контролној, третираној и неутралној зони ($p < 0,001$). Као и у претходном случају, Wilcoxonov post-hoc test тест показао је статистички значајне разлике између контролне и третиране зоне ($p < 0,001$), контролне и неутралне зоне ($p < 0,001$) и третиране и неутралне зоне ($p < 0,001$) (Табела 6). С обзиром да је медијана времена проведеног у контролној зони износила 330 s, у неутралној 204 s, а у третираној зони 75 s (Табела 3), уочено је значајно дуже задржавање јединки у контролној у односу на третирану зону, што указује на изражено репелентно дејство етарског уља лимуна према *S. oryzae* при количини уља од 90 μL .

Табела 6. Резултати Wilcoxonovog теста за етарско уље лимуна у количини од 90 μL за врсту *S.oryzae*

Тестирани парови	Z	p	Значајност
K-T	4,800000	0,000002	*
K-N	4,000000	0,000063	*
T-N	3,753259	0,000175	*

(-): нема значајности; (*): статистички значајно за Bonferroniјев кориговани праг од $p < 0,0167$

Friedmanov тест је показао статистички значајне разлике у времену проведеном у контролној, третираној и неутралној зони ($p = 0,00375$) када су јединке *S. oryzae* биле изложене етарском уљу наранџе у количини од 50 μL . Према Wilcoxonovom тесту, једине статистички значајне разлике могу се уочити између контролне и третиране зоне ($p = 0,00511$), док разлике између контролне и неутралне зоне ($p = 0,10960$) и третиране и неутралне зоне ($p = 0,15304$) нису биле статистички значајне (Табела 7). Медијана времена проведеног у контролној зони износила је 283 s, у неутралној 165 s, а у третираној зони 115 s (Табела 3). Како се може уочити да су се јединке значајно дуже задржавале у контролној у односу на третирану зону, може се закључити да етарско уље наранџе поседује репелентно деловање према *S. oryzae* при количини уља од 50 μL .

Табела 7. Резултати Wilcoxonovog теста за етарско уље наранџе у количини од 50 μL за врсту *S.oryzae*

Тестирани парови	Z	p	Значајност
K-T	2,800000	0,005110	*
K-N	1,600000	0,109599	-
T-N	1,428869	0,153042	-

(-): нема значајности; (*): статистички значајно за Bonferroniјев кориговани праг од $p < 0,0167$

Применом етарског уља наранџе у количини од 70 μL , Friedmanov тест је показао статистички значајне разлике у времену проведеном у контролној, третираној и неутралној зони ($p < 0,001$). Wilcoxonov тест је указао на постојање статистички значајне разлике између контролне и третиране зоне ($p = 0,001374$), док разлика између контролне и неутралне зоне није била статистички значајна ($p = 0,109599$). Разлика између третиране и неутралне зоне такође је била статистички значајна ($p = 0,016395$), иако је на самој граници са постављеним Bonferroniјевим коригованим прагом од $p < 0,01677$ (Табела 8). Како је медијана времена током ког су јединке *S. oryzae* провеле у контролној зони износила 255 s, у неутралној 199 s, а у третираној зони 135 s (Табела 3), ово значајно дуже задржавање јединки у контролној у односу на третирану зону доказује репелентно дејство етарског уља наранџе при количини од 70 μL .

Табела 8. Резултати Wilcoxonovog теста за етарско уље наранџе у количини од 70 μL за врсту *S.oryzae*

Тестирани парови	Z	p	Значајност
K-T	3,200000	0,001374	*
K-N	1,600000	0,109599	-
T-N	2,400000	0,016395	*

(-): нема значајности; (*): статистички значајно за Bonferroniјев кориговани праг од $p < 0,0167$

Слично претходним резултатима, при примени највеће количине (90 μL) етарског уља наранџе, Friedmanov тест је показао статистички значајне разлике у времену проведеном у све три зоне ($p < 0,001$). Wilcoxonov test је показао статистички значајне разлике између контролне и третиране зоне ($p < 0,001$), контролне и неутралне зоне ($p < 0,001$), као и третиране и неутралне зоне ($p = 0,00137$) (Табела 9). С обзиром да су једнике *S. oryzae* према вредностима медијана провеле 2,5 пута више времена у контролној (380 s) него у неутралној зони (147 s) и 5,5 пута више него у третираној зони (67 s) (Табела 3), може се закључити да етарско уље наранџе примењено у највећој количини има изражено репелентно дејство.

Табела 9. Резултати Wilcoxonovog теста за етарско уље наранџе у количини од 90 μL за врсту *S.oryzae*

Тестирани парови	Z	p	Значајност
K-T	4,800000	0,000002	*
K-N	4,000000	0,000063	*
T-N	3,200000	0,001374	*

(-): нема значајности; (*): статистички значајно за Bonferroniјев кориговани праг од $p < 0,0167$

5.2.2 Утицај етарских уља коре лимуна и наранџе на понашање *A. obtectus*

Дескриптивни статистички параметри за временске резултате измерене у секундама (s) за врсту *A. obtectus* приказани су у табели 10. Највише вредности времена констатују се код обе врсте етарског уља при највећим количинама (90 μL) у контролној зони што може указивати на тенденцију избегавања зоне у којој је присутно етарско уље, односно на појаву репелентног ефекта оба етарска уља. Супротно томе, веће просечно време проведено у третираној зони у односу на контролну зону (код етарског уља наранџе при количини од 50 μL и код оба етарска уља при количини од 70 μL) може указивати на тенденцију привлачења инсеката, тј. атрактантности.

Табела 10. Дескриптивни статистички параметри за временске резултате (у секундама) добијене за врсту *A. obtectus*

		Количина етарског уља								
		50 μ L			70 μ L			90 μ L		
		K	T	N	K	T	N	K	T	N
<i>Citrus limon</i>	Xsr	282,28	247,48	69,88	266,32	267,28	65,72	320,76	252,36	26,56
	SD	254,01	260,66	112,75	262,84	255,94	112,26	276,27	272,88	64,20
	Min.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Max.	600	600	384	600	600	419	600	600	240
	mediana	214	123	0	149	236	0	262	165	0
<i>Citrus sinensis</i>	Xsr	257,32	266,84	74,72	234,64	254,48	108,36	335,80	138,00	124,68
	SD	241,58	249,13	91,04	220,61	237,55	141,87	173,87	151,78	126,56
	Min.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Max.	600	600	248	600	600	529	600	600	498
	mediana	221	202	10	188	189	46	303	87	125

Код јединки *A. obtectus* које су биле изложене етарском уљу лимуна у количинама од 50 и 70 μ L, није утврђена статистички значајна разлика у времену које су инсекти проводили у контролној, третираној и неутралној зони. Међутим, приликом излагања јединки етарском уљу лимуна у количини од 90 μ L, Friedmanov тест је показао статистички значајне разлике у времену проведеном у контролној, третираној и неутралној зони ($p = 0,00185$). Post-hoc Wilcoxonov тест показао је да се време проведено у контролној и третираној зони није статистички значајно разликовало ($p = 0,68916$) док су значајне разлике утврђене између контролне и неутралне зоне ($p = 0,00361$), као и између третиране и неутралне зоне ($p = 0,00195$) (Табела 11). Ови резултати указују да при највећој примењеној количини уља није утврђено статистички значајно репелентно нити атрактивно дејство етарског уља лимуна, с обзиром на то да се време проведено у контролној и третираној зони није значајно разликовало.

Табела 11. Резултати Wilcoxonovog теста за етарско уље лимуна у количини од 90 μ L за врсту *A. obtectus*

Тестирани парови	Z	p	Значајност
K-T	0,400000	0,689157	-
K-N	2,910428	0,003609	*
T-N	3,098387	0,001946	*

(-): нема значајности; (*): статистички значајно за Bonferronijев кориговани праг од $p < 0,0167$

Након излагања јединки *A. obtectus* најмањој количини (50 μ L) етарског уља наранце, Friedmanov тест је показао статистички значајну разлику у времену проведеном у контролној, третираној и неутралној зони ($p = 0,04438$). Међутим, Wilcoxonov тест није

показао статистички значајне разлике између контролне и третиране зоне ($p = 1,00000$), контролне и неутралне зоне ($p = 0,03389$), нити између третиране и неутралне зоне ($p = 0,06646$) (Табела 12). Стога, иако је Friedmanov тест указао на укупну разлику између зона, post-hoc анализом није потврђена статистички значајна разлика између појединачних зона, укључујући контролну и третирану зону, те се не може закључити о статистички значајном репелентном или атрактивном дејству етарског уља наранџе при количини од 50 μL .

Табела 12. Резултати Wilcoxonovog теста за етарско уље наранџе у количини од 50 μL за врсту *A. obtectus*

Тестирани парови	Z	p	Значајност
K-T	0,000000	1,000000	-
K-N	2,121320	0,033895	-
T-N	1,835326	0,066457	-

(-): нема значајности; (*): статистички значајно за Bonferroniјев кориговани праг од $p < 0,0167$

Такође, излагањем јединки *A. obtectus* средњој количини етарског уља наранџе (70 μL), није утврђена статистички значајна разлика у времену које су инсекти проводили у контролној, третираној и неутралној зони. Супротно томе, Friedmanov тест је указао на постојање статистички значајних разлика између времена проведеног у контролној, третираној и неутралној зони при највећој количини етарског уља наранџе ($p = 0,00107$). Post-hoc анализа је спроведена ради утврђивања између којих зона постоје значајне разлике (Табела 13). Post-hoc Wilcoxonov тест је показао статистички значајне разлике између контролне и третиране зоне ($p = 0,00511$), као и између контролне и неутралне зоне ($p = 0,00796$), док између третиране и неутралне зоне није утврђена статистички значајна разлика ($p = 0,50234$) (Табела 13). Медијана времена проведеног у контролној зони износила је 303 s, у третираној 87 s, а у неутралној 125 s (Табела 10). Значајно дужи задржавање инсеката у контролној у односу на третирану зону указује на репелентно дејство етарског уља наранџе при количини од 90 μL .

Табела 13. Резултати Wilcoxonovog теста за етарско уље наранџе у количини од 90 μL за врсту *A. obtectus*

Тестирани парови	Z	p	Значајност
K-T	2,800000	0,005110	*
K-N	2,653614	0,007963	*
T-N	0,670820	0,502335	-

(-): нема значајности; (*): статистички значајно за Bonferroniјев кориговани праг од $p < 0,0167$

5.2.3 Утицај етарских уља коре лимуна и наранџе на понашање *T. confusum*

Дескриптивни статистички параметри за резултате измереног времена у секундама (s) за врсту *T. confusum* приказани су у Табели 14. Највише вредности времена код етарског уља лимуна уочавају се при највећој (90 μ L), а код етарског уља наранџе, при средњој количини (70 μ L) у контролној зони, што може указивати на тенденцију избегавања зоне у којој је присутно етарско уље, односно на појаву репелентног ефекта оба етарска уља. За разлику од *A. obtectus*, код *T. confusum* веће просечно време проведено у третираној зони у односу на контролну зону није констатовано ни код једног етарског уља, нити једне концентрације, што би указивало на тенденцију привлачења инсеката, тј. атрактантности.

Табела 14. Дескриптивни статистички параметри за временске резултате (у секундама) добијене за врсту *T. confusum*

		Количина етарског уља								
		50 μ L			70 μ L			90 μ L		
		K	T	N	K	T	N	K	T	N
<i>Citrus limon</i>	Xsr	293,08	175,68	128,68	348,72	121,56	127,56	352,44	114,44	131,32
	SD	149,66	150,15	83,58	137,04	105,68	77,42	134,32	81,59	77,85
	Min.	11	0	0	48	0	0	119	0	0
	Max.	600	581	325	600	519	274	600	295	293
	mediana	297	132	133	355	109	125	342	107	141
<i>Citrus sinensis</i>	Xsr	262,12	121,96	214,44	276,72	175,76	144,32	258,44	155,56	182,80
	SD	124,37	108,63	107,78	161,65	132,81	114,00	148,04	116,85	121,27
	Min.	11	0	20	0	14	0	23	0	0
	Max.	559	407	452	556	600	415	600	534	411
	mediana	271	99	214	261	166	141	213	133	196

Након излагања јединки *Tribolium confusum* етарском уљу лимуна при најмањој количини (50 μ L), Friedmanов тест је показао статистички значајне разлике у времену проведеном у контролној, третираној и неутралној зони ($p < 0,001$). Wilcoxonov тест је истакао статистички значајну разлику између контролне и третиране зоне ($p = 0,0164$), као и између контролне и неутралне зоне ($p = 0,00137$) иако је ова прва разлика врло близу Bonferroniјевог коригованог прага од $p < 0,01677$ (Табела 15). Разлика између третиране и неутралне зоне није била статистички значајна ($p = 0,30743$). Медијана времена проведеног у контролној зони износила је 297 s, у третираној 132 s, а у

неутралној 133 s (Табела 14), те ово значајно дуже задржавање јединки у контролној у односу на третирану зону указује на репелентно дејство етарског уља лимуна према *T. confusum* при примењеној количини.

Табела 15. Резултати Wilcoxonovog теста за етарско уље лимуна у количини од 50 μL за врсту *T. confusum*

Тестирани парови	Z	p	Значајност
K-T	2,400000	0,016395	*
K-N	3,200000	0,001374	*
T-N	1,020621	0,307434	-

(-): нема значајности; (*): статистички значајно за Bonferroniјев кориговани праг од $p < 0,0167$

При количини од 70 μL етарског уља лимуна, Friedmanov тест је показао статистички значајне разлике у времену проведеном у све три зоне ($p < 0,001$). Том приликом, Wilcoxonov тест је истакао статистички значајне разлике између контролне и третиране зоне, као и између контролне и неутралне зоне (за оба теста $p < 0,001$), док разлика између третиране и неутралне зоне није била статистички значајна ($p = 0,67666$) (Табела 16). На основу вредности медијана времена проведеног у контролној (355 s), третираној (109 s) и неутралној зони (125 s) (Табела 14), може се закључити да етарско уље лимуна у количини од 70 μL поседује репелентно дејство према *T. confusum*.

Табела 16. Резултати Wilcoxonovog теста за етарско уље лимуна у количини од 70 μL за врсту *T. confusum*

Тестирани парови	Z	p	Значајност
K-T	3,470110	0,000520	*
K-N	3,600000	0,000318	*
T-N	0,417029	0,676657	-

(-): нема значајности; (*): статистички значајно за Bonferroniјев кориговани праг од $p < 0,0167$

Статистички значајне разлике у времену проведеном у контролној, третираној и неутралној зони ($p < 0,001$) констатоване су Friedmanovim тестом и при количини етарског уља лимуна од 90 μL . Wilcoxonov тест је издвојио исте статистички значајне разлике између контролне и третиране зоне, као и између контролне и неутралне зоне (за оба теста $p < 0,001$), док разлика између третиране и неутралне зоне није била статистички значајна ($p = 0,13559$) (Табела 17). Из табеле 14 може се уочити да су медијане времена проведеног у контролној зони 342 s, у третираној 107 s, а у неутралној 141 s, што указује на репелентно дејство етарског уља лимуна према *T. confusum* при највећој количини (90 μL).

Табела 17. Резултати Wilcoxonovog теста за етарско уље лимуна у количини од 90 μL за врсту *T. confusum*

Тестирани парови	Z	p	Значајност
K-T	3,600000	0,000318	*
K-N	3,600000	0,000318	*
T-N	1,492405	0,135593	-

(-): нема значајности; (*): статистички значајно за Bonferroniјев кориговани праг од $p < 0,0167$

Након излагања јединки *T. confusum* етарском уљу наранџе у количини од 50 μL , Friedmanov тест је указао на постојање статистички значајне разлике у временским интервалима које су јединке провеле у контролној, третираној и неутралној зони ($p = 0,00147$). Wilcoxonov тест је истакао статистички значајну разлику између времена проведеног у контролној и третираној зони ($p < 0,001$), док разлике између контролне и неутралне ($p = 0,68916$) и третиране и неутралне зоне ($p = 0,10960$) нису биле статистички значајне (Табела 18). С обзиром да је медијана времена проведеног у контролној зони скоро 3 пута већа него у третираној (271 и 99 s), а у неутралној 214 s (Табела 14), може се констатовати да етарско уље наранџе у овој количини има репелентно дејство према *T. confusum*.

Табела 18. Резултати Wilcoxonovog теста за етарско уље наранџе у количини од 50 μL за врсту *T. confusum*

Тестирани парови	Z	p	Значајност
K-T	3,600000	0,000318	*
K-N	1,600000	0,109599	-
T-N	1,600000	0,109599	-

(-): нема значајности; (*): статистички значајно за Bonferroniјев кориговани праг од $p < 0,0167$

При примени етарског уља наранџе у количини од 70 μL , Friedmanov тест је показао статистички значајне разлике у времену проведеном у све три зоне ($p = 0,01707$). Применом Wilcoxonovog теста уочене су статистички значајне разлике између времена проведеног у контролној и третираној зони ($p = 0,00511$), док разлике између контролне и неутралне зоне ($p = 0,15304$) и третиране и неутралне зоне ($p = 1,00000$) (Табела 19). Медијана времена проведеног у контролној зони износила је 261 s, у третираној 166 s, а у неутралној 141 s (Табела 14), на основу чега се може тумачити да примена етарског уља наранџе у количини од 70 μL такође има репелентни ефекат на јединке *T. confusum*.

Табела 19. Резултати Wilcoxonovog теста за етарско уље наранџе у количини од 70 μL за врсту *T. confusum*

Тестирани парови	Z	p	Значајност
K-T	2,800000	0,005110	*
K-N	1,428869	0,153042	-
T-N	0,000000	1,000000	-

(-): нема значајности; (*): статистички значајно за Bonferroniјев кориговани праг од $p < 0,0167$

Изненађујуће, при примени етарског уља наранџе у количини од 90 μL , Friedmanov тест није показао статистички значајне разлике у времену проведеном у контролној, третираној и неутралној зони ($p = 0,09764$). Добијени резултати указују на одсуство статистички значајног утицаја етарског уља у овој концентрацији на преференцију зоне код испитиваних јединки, односно на то, да се при овој концентрацији не може потврдити ни репелентно ни атрактивно дејство етарског уља. На то указују и вредности медијана времена проведеног у контролној (213 s), третираној (133 s) и неутралној (196 s) зони (Табела 14), те да упркос нумерички краћем задржавању јединки у третираној зони, разлике између зона нису биле статистички значајне.

На основу статистичке обраде података, ефекат репелентности примењених етарских уља сумиран је у табели 20.

Табела 20. Сумирани резултати статистичке обраде података о репелентном/атрактивном ефекту етарских уља лимуна и наранџе

Врста инсекта	Етарско уље	Количина етарског уља		
		50 μL	70 μL	90 μL
<i>A. obtectus</i>	лимун	Нема значајног ефекта	Нема значајног ефекта	Нема значајне разлике K–T
	наранџа	Нема потврђеног ефекта	Нема значајног ефекта	Репелентно
<i>S. oryzae</i>	лимун	Репелентно	Репелентно	Репелентно
	наранџа	Репелентно	Репелентно	Репелентно
<i>T. confusum</i>	лимун	Репелентно	Репелентно	Репелентно
	наранџа	Репелентно	Репелентно	Нема потврђеног ефекта

5.3 РЕЗУЛТАТИ БИОХЕМИЈСКИХ ТЕСТОВА

5.3.1 Утицај етарских уља коре лимуна и наранџе на укупан антиоксидантни капацитет тест инсеката

Укупан антиоксидантни капацитет (FRAP) у узорцима инсеката изложених 24 часа етарским уљима коре лимуна и наранџе приказан је на графику 1. Двофакторска анализа варијансе (ANOVA) показала је да примењени третман, врста инсекта, као и њихова интеракција имају статистички значајан утицај на укупни антиоксидантни капацитет (FRAP) код испитиваних узорка ($p < 0.001$; Табела 21). Високо статистички значајна интеракција између третмана и врсте потврђује да одговор антиоксидантног капацитета на примењене третмане (лимун и наранџа) директно зависи од испитиване инсекатске врсте, односно да *A. obtectus*, *S. oryzae* или *T. confusum* другачије реагују на изложеност етарским уљима лимуна и наранџе.

Табела 21. Резултати двофакторске анализе варијансе (Two-way ANOVA) за укупни антиоксидантни капацитет (FRAP) код испитиваних инсеката

Извор варијабилитета	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средњи квадрат (MS)	F-вредност	p-вредност
Третман (Етарско уље)	2	412,28	206,14	17,013	< 0,001
Врста инсекта	2	4545,86	2272,93	187,584	< 0,001
Интеракција (Третман × Врста)	4	2541,64	635,41	52,440	< 0,001
Грешка (Error/Residual)	18	218,10	12,12	—	—

Код жижака пасуља (*A. obtectus* (A)) примена оба етарска уља довела је до драстичног пада антиоксидативног капацитета у односу на контролу ($p < 0.001$). Измерене FRAP вредности код третираних јединки биле су значајно ниже ($28.5058 \mu\text{mol/mg}$ за лимун и $32.7887 \mu\text{mol/mg}$ за наранџу) у поређењу са контролом ($53.218 \mu\text{mol/mg}$) при чему између самих третмана лимуна (L) и наранџе (N) није забележена статистички значајна разлика.

Супротно томе, код пиринчаног жишка (*S. oryzae* (S)) забележен је стимулативни ефекат третмана етарског уља лимуна и наранџе. Док је контролна група имала најнижу вредност ($51.3309 \mu\text{mol/mg}$), примена третмана довела је до значајног скока

антиоксидативног капацитета (на 68.2395 $\mu\text{mol}/\text{mg}$ код лимуна, односно 80.8502 $\mu\text{mol}/\text{mg}$ код наранџе; $p = 0,0012$). Иако је уље наранџе изазвало нешто виши антиоксидантни одговор Tukey-ев HSD тест је показао да разлика између ова два уља није била статистички значајна.

Код малог брашнара (*T.confusum* (T)) забележена је највећа селективност у одговору на примењене третмане. У односу на контролу (51.6207 $\mu\text{mol}/\text{mg}$), оба третмана су изазвала пад антиоксидативног капацитета, али различитим интензитетом. Уље наранџе је проузроковало умерено смањење FRAP вредности (37.5689 $\mu\text{mol}/\text{mg}$), док је уље лимуна изазвало најизраженији пад капацитета (32.4493 $\mu\text{mol}/\text{mg}$).

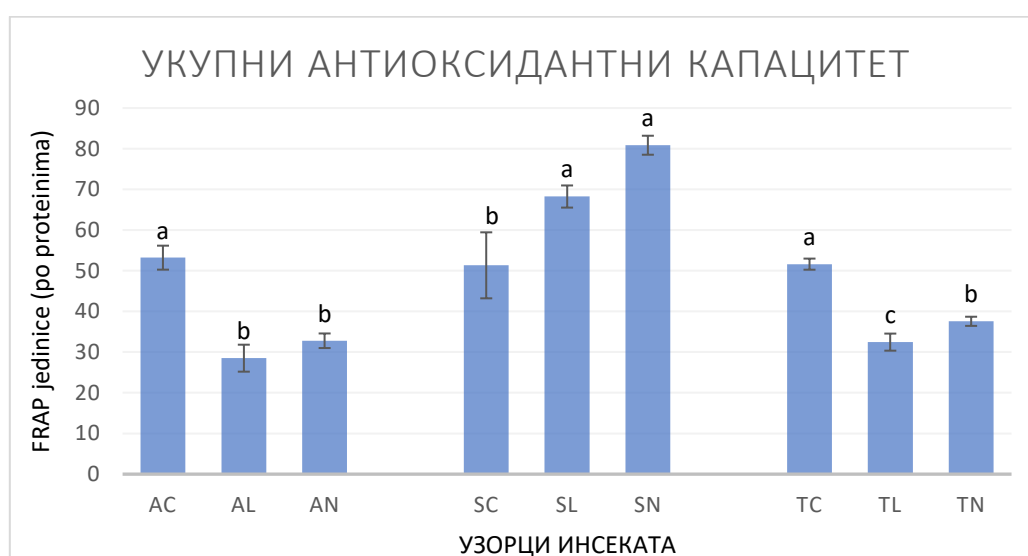


График 1. Укупни антиоксидантни капацитет (FRAP) узорака експонираних инсеката *A. obtectus* (A), *S. oryzae* (S) и *T. confusum* (T) дејству етарских уља лимуна (L) и наранџе (N) или без третмана (контрола - C). Вредности су приказане као аритметичка средина $\pm$ стандардна девијација (SD). Различита слова изнад стубаца означавају значајне разлике на нивоу $p < 0,05$ (Tukey HSD теста)

5.3.2 Утицај етарских уља коре лимуна и наранџе на активност каталазе код тест инсеката

На графику 2. приказани су резултати утицаја етарских уља *C. limon* и *C. sinensis* на активност ензима каталазе код тест инсеката. Двофакторска анализа варијансе показала је да врста инсекта, примењени третман и њихова међусобна интеракција остварују статистички значајан утицај на активност ензима каталазе (CAT) (Табела 22). Статистички значајна интеракција између врсте и третмана ($p = 0.0013$), указује на то да промена активности каталазе под утицајем третмана лимуном и наранџом директно зависи од испитиване инсекатске врсте.

Табела 22. Резултати двофакторске анализе варијансе (Two-way ANOVA) активност ензима каталазе (CAT) код испитиваних инсеката

Извор варијабилитета	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средњи квадрат (MS)	F-вредност	p-вредност
Третман (Етарско уље)	2	0,0218	0,0109	14,596	< 0,001
Врста инсекта	2	0,264	0,132	177,027	< 0,001
Интеракција (Третман × Врста)	4	0,0212	0,0053	7,121	0,0013
Грешка (Error/Residual)	18	0,0134	0,0007	—	—

Код *A. obtectus* примена етарских уља није довела до статистички значајне промене у активности ензима у односу на контролу (0,1737 U/mg prot), али је забележена јасна разлика у деловању самих уља. Третман уљем лимуна индуковао је највишу активност каталазе (0,2249 U/mg prot), док је уље наранџе проузроковало најнижу активност (0,1444 U/mg prot), при чему је разлика између ова два третмана била статистички значајна.

У оквиру врсте *S. oryzae*, примена етарских уља лимуна и наранџе довела је до значајног пада активности каталазе (на 0,0692 U/mg prot код лимуна, односно 0,0769 U/mg prot код наранџе) у односу на контролу (0,1830 U/mg prot). Међутим, између третмана уља лимуна и наранџе није било статистички значајне разлике и супресији активности каталазе.

Насупрот претходним врстама, код *T. confusum* примењени третмани нису изазвали статистички значајне промене у активности каталазе у односу на контролу (0,3891 U/mg prot) ($p > 0.05$). Иако је уочен благи тренд пада активности ензима под утицајем лимуна (0,3318 U/mg prot) и наранџе (0,3166 U/mg prot), Tukey-ев тест је све три групе сврстао у исту статистичку класу, указујући на изостанак значајног одговора каталазе на примењена етарска уља

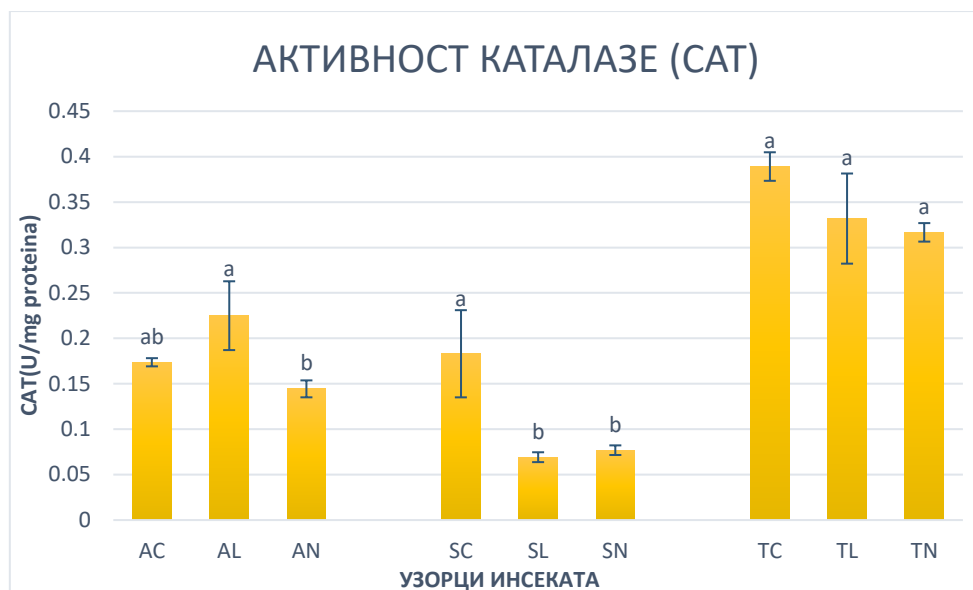


График 2. Активност каталазе (CAT) (U/mg proteina) узорака експонираних инсеката *A. obtectus* (A), *S.oryzae* (S) и *T.confusum* (T) дејству етарских уља лимуна (L) и наранџе (N) или без третмана (контрола - C). Вредности су приказане као аритметичка средина $\pm$ стандардна девијација (SD). Различита слова изнад стубаца означавају значајне разлике на нивоу $p < 0,05$ (Tukey HSD теста)

5.3.3 Утицај етарских уља коре лимуна и наранџе на активност β - естеразе код тест инсеката

Резултати утицаја етарских уља *C.limon* и *C.sinensis* на активност ензима β - естеразе код тест инсеката приказани су на графику 3. Двофакторска анализа варијансе показала је да третман, врста инсекта и њихова интеракција имају статистички значајан утицај на активност ензима β – естеразе код испитиваних узорака ($p < 0.001$; Табела 23). Високо статистички значајна интеракција између третмана и врсте потврђује да промена активности β - естеразе под утицајем третмана лимуном и наранџом директно зависи од испитиване инсекатске врсте.

Табела 23. Резултати двофакторске анализе варијансе (Two-way ANOVA) активност ензима β -естеразе код испитиваних инсеката

Извор варијабилитета	Степени слободе (df)	Сума квадрата (SS)	Средњи квадрат (MS)	F-вредност	p-вредност
Третман (Етарско уље)	2	0,0199	0,0099	18,303	< 0,001
Врста инсекта	2	0,2368	0,1184	217,889	< 0,001
Интеракција (Третман $\times$ Врста)	4	0,0383	0,0096	17,605	< 0,001
Грешка (Error/Residual)	18	0,0098	0,0005	—	—

Код *A. obtectus* примена етарског уља лимуна довела је до значајног скока активности β - естеразе у односу на контролну групу, која је имала најнижу измерену вредност (0,1704 U/mg prot). Под утицајем лимуна инсекти су испољили највишу активност ензима (0,2501 U/mg prot), док је третман наранџом изазвао умеренији одговор (0,2241 U/mg prot) који се није статистички значајно разликовао ни од контроле ни од третмана лимуном.

Супротно томе, код *S. oryzae* примена оба третмана довела је до статистички значајног пада активности β - естеразе, у односу на контролну групу, која је имала највишу активност ензима (0,2351 U/mg prot). Третман лимуном проузроковао је умерен пад активности (0,1750 U/mg prot), док је уље наранџе изазвало драстично сузбијање ензимске активности на најнижу измерену вредност (0,0863 U/mg prot), при чему је остварена статистички значајна разлика и између самих третмана.

Код *T. confusum* такође је уочен инхибиторни ефекат третмана на активност β - естеразе. Третман етарским уљем наранџе изазвао је статистички значајан пад активности β - естеразе (0,3423 U/mg prot) у односу на контролну групу (0,4386 U/mg prot), док је третман лимуном је довео до нешто блажег смањења активности ензима (0,3717 U/mg prot), без статистички значајне разлике у односу на контролну групу и третман наранџом.

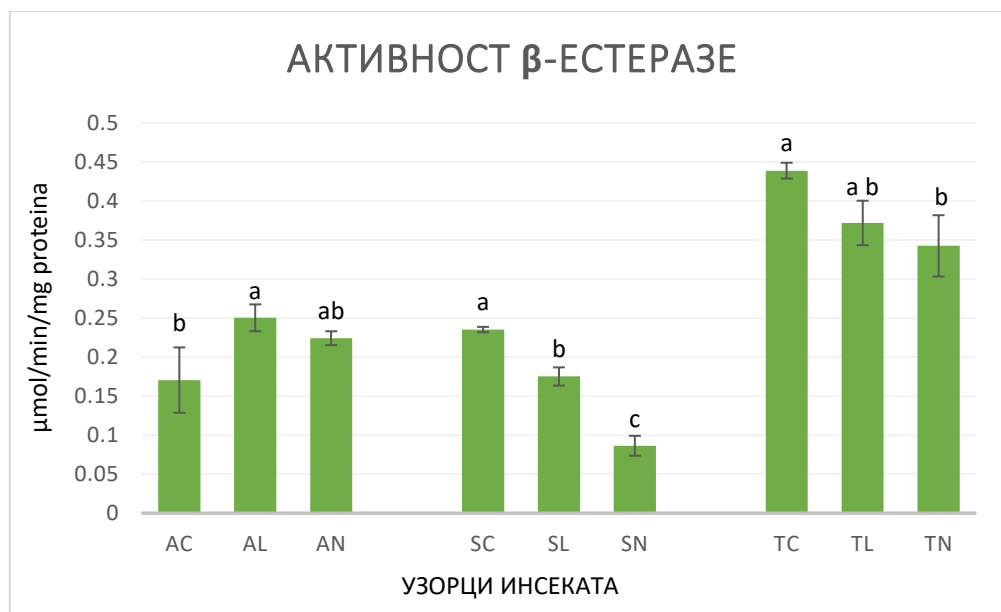


График 3. Активност β - естеразе ($\mu\text{mol/min/mg protein}$) узорака експонираних инсеката *A.obtectus* (A), *S.oryzae* (S) и *T.confusum* (T) дејству етарских уља лимуна (L) и наранџе (N) или без третмана (контрола - C). Вредности су приказане као аритметичка средина $\pm$ стандардна девијација (SD). Различита слова изнад стубаца означавају значајне разлике на нивоу $p < 0,05$ (Tukey HSD теста)

6. ДИСКУСИЈА

У овом истраживању, резултати хемијског профила етарских уља коре цитруса, чија је биолошка активност према складишним инсектима испитивана, показали су да је доминантна компонента у оба етарска уља био лимонен, са уделом од 78,2% у уљу лимуна (*C. limon*) и чак 97,3% у уљу наранџе (*C. sinensis*), што је у сагласности са многобројним истраживањима (Palacios *et al.*, 2009; Campolo *et al.*, 2013; Kim & Lee, 2014; da Camara *et al.*, 2015;).

Тест са олфактометром показао је репелентни ефекат оба уља на *S. oryzae* при свим тестираним количинама (50,70 и 90 μ L). Етарско уље лимуна показало се као ефикасан репелент против складишне штеточине *Alphitobius diaperinus*, као и одличан инсектицид и репелент против *Musca domestica* (Francikowski *et al.*, 2019; Villanueva-Pereira *et al.*, 2025), а етарско уље наранџе делује репелентно против гриња *Tetranychus urticae* (da Camara *et al.* 2015). Репелентно дејство етарских уља цитруса доказано је и у другим истраживањима: Bedini *et al.* (2024) показали су репелентност етарског уља *C. aurantium* према *Sitophilus zeamais*, а Saeidi *et al.* (2011) су доказали јаку инсектицидну и репелентну активност етарских уља коре цитруса код врсте *Callosobruchus maculatus*. Ово репелентно деловање може се приписати снажној ароми лимонена која изазива иритирајуће ефекте сензорних органа инсеката, што за последицу има њихово избегавање тог подручја (Silwanyana *et al.*, 2026).

Значајна репелентност етарских уља испољена је код малог брашнара при најмањим и средњим количинама (50 и 70 μ L) за оба уља. Међутим, при количини од 90 μ L, дошло је до губитка репелентног ефекта уља коре наранџе. Ова појава може се потенцијално објаснити десензитизацијом неурона олфакторних рецептора, која може бити у трајању од неколико секунди до неколико минута или чак сати, услед дуготрајне изложености или изложености виоским концентрацијама стимулуса (Guo & Smith, 2022). Високе

концентрације мирисних супстанци засићују рецепторе, при чему долази до преласка валенце понашања и промене одговора инсекта (Perry *et al.*, 2024).

Пасуљев жижак *Acanthoscelides obtectus* показао је највећу отпорност према дејству етарских уља коре лимуна и наранџе. Уље лимуна није имало значајан репелентни ефекат ни при једној количини примене, док је уље наранџе испољило репелентно дејство тек при највећој примењеној количини (90 μ L). Ови резултати потврђују наводе да је пасуљев жижак као врста мање осетљив на цитрусе у поређењу са другим етарским уљима: Khelfane-Goucem *et al.* (2016) показали су да етарска уља биљака из породице *Lamiaceae* испољавају боље фумигационо и репелентно дејство према *A. obtectus* него етарска уља цитруса, а према Papachristos and Stamopoulos (2002) од 13 испитиваних етарских уља, само три нису показала репелентну активност према једникама жишка пасуља, међу којима је и уље наранџе.

Физиолошко деловање етарских уља и њихових компонентни на инсекте, поред неуротоксичних ефеката, утиче и на метаболизам детоксификације ксенобиотика, функцију митохондрија и антиоксидативну одбрану (Lazarević *et al.*, 2022).

Резултати биохемијских анализа показали су да одговор укупног антиоксидантног капацитета (FRAP) на примењена етарска уља директно зависи од испитиване инсекатске врсте. Док су етарска уља лимуна и наранџе изазвала значајан пад антиоксидантног капацитета (FRAP) код врста *A. obtectus* и *T.confusum*, код *S.oryzae* је забележен значајан пораст FRAP вредности у односу на контролу. Пораст FRAP вредности код *S.oryzae* указује на активну индукцију антиоксидантног система услед оксидативног стреса изазваног деловањем етарских уља, при чему инсекти покрећу различите ензимске и неензимске антиоксиданте у циљу заштите ћелија (Lazarević *et al.*, 2022). С друге стране, значајан пад антиоксидантног капацитета код *A.obtectus* и *T.confusum* сугерише да је интензитет оксидативног стреса превазишао капацитете њихове одбране, доводећи до исцрпљивања расположивих антиоксиданата. Овакав различит одговор потврђује да етарска уља цитруса остварују специфичан степен токсичности и стреса у зависности од метаболичких карактеристика саме врсте. Поред тога, поједине компоненте етарских уља могу деловати инхибиторно на главне путеве детоксикације инсеката (Kedia, 2026). У овом истраживању, оба етарска уља довела су до статистички значајног пада активности каталазе и β -естеразе код *S.oryzae*, док је етарско уље наранџе изазвало пад активности β -естеразе код *T.confusum*, што указује на

токсично дејство примењених третмана и супресију њиховог ензимског одбрамбеног система (Kumar *et al.*, 2026). За разлику од њих, код врсте *A.obtectus* примена етарског уља лимуна довело је до повећања активности каталазе, као и значајног скока у активности β -естеразе. Сличне резултате добили су и Lazarević *et al.* (2022), где је код испитиваних јединки пасуљевог жишка забележено повећање активности ензима супероксид-дисмутазе, каталазе и карбоксилестераза при сублетланим дозама монотерпена тимола, што указује на реактивацију детоксикационих и одбрамбених путева код ове врсте

Резултати овог истраживања указују на то да етарска уља *C. limon* и *C. sinensis* поседују велики потенцијал као потенцијални еколошки биорепеленти и биопестициди у борби против складишних штеточина. Захваљујући способности да потисну активност ензима детоксификације код појединих штеточина, ова уља могу допринети и повећању ефикасности других инсектицида у оквиру заштите биља (Campolo *et al.*, 2018).

7. ЗАКЉУЧАК

На основу резултата огледа, који је имао за циљ да се испита биолошка активност етарских уља коре наранџе и лимуна против *S.oryzae*, *A.obtectus* и *T.confusum*, могу се извести следећи закључци:

- ❖ Етарско уље лимуна испољава стабилан и уједначен репелентни ефекат на све три примењене количине уља (50, 70 и 90 μL) код врста *Sitophilus oryzae* и *Tribolium confusum*, док на врсту *Acanthoscelides obtectus* делује неутрално. Константно одбијајуће дејство сугерише да испарљиве компоненте лимуна делују као директни и снажни олфакторни репеленти за *Sitophilus oryzae* и *Tribolium confusum*, покрећући њихово заштитно избегавање третиране зоне, док код пасуљевог жижка мирисни сигнали лимуна не изазивају одбрамбену реакцију.
- ❖ Етарско уље наранџе испољава нелинеаран утицај на понашање испитиваних инсекта. Код врсте *S.oryzae* има непрекидан репелентни ефекат при свим количинама, док се код *A.obtectus* репелентност активира тек при максималној количини примене уља. Најспецифичнији тренд уочен је код врсте *T. confusum*, где уље наранџе показује јасну репелентност при нижим и средњим количинама уља (50 и 70 μL), док при највећој количини од 90 μL репелентни ефекат потпуно нестаје.
- ❖ Биохемијски одговор антиоксидантног и детоксикационог система инсеката на примењена етарска уља лимуна и наранџе је изразито врста специфичан.
- ❖ Код најинхибираније врсте *S. oryzae*, оба уља изазивају пад активности каталазе и β -естеразе, уз мобилизацију антиоксидантног капацитета (скок FRAP вредности). Код врсте *T. confusum*, примена уља наранџе доводи до инхибиције β -естеразе, док активност каталазе остаје стабилна. Насупрот њима, пасуљев жижак (*A.obtectus*) показује највећу физиолошку отпорност, реагујући на уље

лимуна значајним скоком активности детоксикационог ензима β -естеразе и одржавањем активности каталазе.

8. ЛИТЕРАТУРА

- Abdelgaleil, S. A., Mohamed, M. I., Shawir, M. S., & Abou-Taleb, H. K. (2015). Chemical composition, insecticidal and biochemical effects of essential oils of different plant species from Northern Egypt on the rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. *Journal of Pest Science*, 89(1), 219-229
- Aćimović, M., Lončar, B., Rat, M., Cvetković, M., Stanković Jeremić, J., Pezo, M., & Pezo, L. (2025). Seasonal variation in volatile profiles of lemon catnip (*Nepeta cataria* var. *citriodora*) essential oil and hydrolate. *Horticulturae*, 11(7), 862.
- Aebi, H. (1984) Catalase *in vitro*. In: *Methods in Enzymology*. Vol. 105, 1st ed. Academic Press, New York–London– Oxford–Boston–San Diego, pp. 121–126.
- Ala, A., Busari, A.O., Braimah, J. A. (2023). Insecticidal Potential of *Citrus sinensis* (L.), *Citrus limon* (L.) and *Piper guineense* (Schumach. & Thonn.) against *Sitophilus zeamais* (Motsch) Infestation in *Zea mays* (L.)(Maize). *Journal of Science Research*, 20(1).
- Almaši, R., & Poslončec, D. I. (2014). Reproduction of confused flour beetle *Tribolium confusum* Du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) on common and spelt wheat and their products. *Pesticides and Phytomedicine/Pesticidi i fitomedicina*, 29(3).
- Bedini, S., Djebbi, T., Ascrizzi, R., Farina, P., Pieracci, Y., Echeverría, M. C., ... & Conti, B. (2024). Repellence and attractiveness: The hormetic effect of aromatic plant essential oils on insect behavior. *Industrial Crops and Products*, 210, 118122.
- Benzi IF, Strain JJ. (1996) The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Anal Biochem*;239:70-6
- Бошковић, Драгана (2019) "ЕФЕКАТ ЕТАРСКОГ УЉА БОСИЉКА НА *TRIBOLIUM CONFUSUM* DU VAL. I *ORYZAEPHILUS SURINAMENSIS* L. 12. Научно-стручна конференција Студенти у сусрет науци – СтЕС 2019, 5-18
- Bradford, M. M. (1976) A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein Dye Binding, *Analytical Biochemistry* 72, no. 1-2, 248–254
- Van Asperen, K. (1962) A study of housefly esterase by means of a sensitive colorimetric method, *J. Insect Physiol.* 8, 401–416.
- Villanueva-Pereira, T., Silva-Aguayo, G., Rodríguez, M., Rodríguez-Maciél, J. C., Cabrera-Barjas, G., Romero, A., & Oyarce, G. (2025). Contact, fumigant and repellent activities of

essential oils of cinnamon, lemon, and peppermint against larvae and adults of *Musca domestica* L. Chilean journal of agricultural research, 85(3), 318-329.

Гвозденац, Соња (2021). Економски значајне штеточине пасуља у Србији. Биљни лекар, 49(6), 787–795

Giatropoulos, A., Papachristos, D. P., Kimbaris, A., Koliopoulos, G., Polissiou, M. G., Emmanouel, N., & Michaelakis, A. (2012). Evaluation of bioefficacy of three Citrus essential oils against the dengue vector *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in correlation to their components enantiomeric distribution. Parasitology research, 111(6), 2253-2263

Giunti, G., Palermo, D., Laudani, F., Algeri, G.M., Campolo, O., & Palmeri, V. (2019). Repellence and acute toxicity of a nano-emulsion of sweet orange essential oil toward two major stored grain insect pests. Industrial Crops and Products, 142, 111869.

González-Mas, M. C., Rambla, J. L., López-Gresa, M. P., Blázquez, M. A., & Granell, A. (2019). Volatile compounds in citrus essential oils: A comprehensive review. Frontiers in plant science, 10, 433929

Guo, H.; Smith, D.P. (2022) Time-Dependent Odorant Sensitivity Modulation in Insects. Insects, 13, 354. <https://doi.org/10.3390/insects13040354>

da Camara, C. A., Akhtar, Y., Isman, M. B., Seffrin, R. C., & Born, F. S. (2015). Repellent activity of essential oils from two species of Citrus against *Tetranychus urticae* in the laboratory and greenhouse. Crop Protection, 74, 110-115.

Demeter, S., Lebbe, O., Hecq, F., Nicolis, S. C., Kenne Kemene, T., Martin, H., Fauconnier, M.-L., Hance, T. (2021). Insecticidal activity of 25 essential oils on the stored product pest, *Sitophilus granarius*. Foods, 10(2), 200

de Sousa, I. G., Naves, P., Barros, G., Mexia, A., & Brites, C. (2026). Behavioural response of *Sitophilus zeamais* to essential oil-derived compounds. Journal of Stored Products Research, 116, 102898.

Đukić, N., Andrić, G., Glinwood, R., Ninkovic, V., Andjelković, B., & Radonjić, A. (2021). The effect of 1 - pentadecene on *Tribolium castaneum* behaviour: repellent or attractant?. Pest Management Science, 77(9), 4034-4039.

Eesiah, S.; Yu, J.; Dingha, B.; Amoah, B.; Mikiashvili, N. (2022) Preliminary Assessment of Repellency and Toxicity of Essential Oils against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) on Stored Organic Corn Grains. Foods, 11, 2907. <https://doi.org/10.3390/foods11182907>

Isman, M. B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. Annual review of entomology, 51(1), 45-66.

Isman, M. B. (2020). Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise?. Annual Review of Entomology, 65(1), 233-249

Kapsaski-Kanelli, V. N., Evergetis, E., Michaelakis, A., Papachristos, D. P., Myrtsi, E. D., Koulocheri, S. D., & Haroutounian, S. A. (2017). “Gold” Pressed Essential Oil: An Essay on

the Volatile Fragment from Citrus Juice Industry By - Products Chemistry and Bioactivity. BioMed Research International, 2017(1), 2761461

Kavallieratos, N. G., Andrić, G., Pražić Golić, M., Nika, E. P., Skourti, A., Kljajić, P., & Papanikolaou, N. E. (2020). Biological features and population growth of two Southeastern European *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) strains. *Insects*, 11(4), 218.

Kedia, A. (2026). A review on nanoformulation of essential oils as an innovative approach for controlling Sitophilus species: Efficacy, mechanisms and challenges. *Plant Nano Biology*, 15, 100262.

Kim, S. I., & Lee, D. W. (2014). Toxicity of basil and orange essential oils and their components against two coleopteran stored products insect pests. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(1), 13-17.

Кљајић ,П. , Андрић, Г., Празић-Голић, М., Јокић, Г., Вуковић, С. (2016) ШТЕТОЧИНЕ УСКЛАДИШТЕНОГ ЖИТА И ЊИХОВО СУЗБИЈАЊЕ. БИЉНИ ЛЕКАР / PLANT DOCTOR, 44, 5-6, 527-540

Khelfane-Goucem, K., Lardjane, N., & Medjdoub-Bensaad, F. (2016). Fumigant and repellent activity of Rutaceae and Lamiaceae essential oils against *Acanthoscelides obtectus* Say. *African Journal of Agricultural Research*, 11(17), 1499-1503.

Kumar, A., Deveci, A., Thokchom, S., Yadav, A., Zeb, J., Gad, M. E., ... & Senbill, H. (2026). Insecticidal and Repellent Effects of Selected Botanicals against *Tribolium Castaneum* (Herbst)(Coleoptera: Tenebrionidae) with Reference To their Effect on Detoxifying Enzymes. *Acta Parasitologica*, 71(1), 27.

Lazarevic, J., Jevremovic, S., Kostic, I., Vuleta, A., Manitašević Jovanovic, S., Kostic, M., & Šešlija Jovanovic, D. (2022). Assessment of sex-specific toxicity and physiological responses to thymol in a common bean Pest *Acanthoscelides obtectus* say. *Front. Physiol.* 13, 842314.

Mesterházy, Á., Oláh, J., & Popp, J. (2020). Losses in the grain supply chain: Causes and solutions. *Sustainability*, 12(6), 2342

Mossa, A. T. H. (2016). Green pesticides: Essential oils as biopesticides in insect-pest management. *Journal of environmental science and technology*, 9(5), 354.

Nayak, M. K., & Daglish, G. J. (2018). Importance of stored product insects. In C. G. Athanassiou & F. H. Arthur (Eds.), *Recent advances in stored product protection* (pp. 1–17). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56125-6_1

Nikolaou, P.; Marciniak, P.; Adamski, Z.; Ntalli, N. (2021) Controlling Stored Products' Pests with Plant Secondary Metabolites: A Review. *Agriculture*, 11, 879. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090879>

Ninkovic, V., Dahlin, I., Vucetic, A., Petrovic-Obradovic, O., Glinwood, R., & Webster, B. (2013). Volatile exchange between undamaged plants-a new mechanism affecting insect orientation in intercropping. *PLoS one*, 8(7), e69431.

- Palacios, S. M., Bertoni, A., Rossi, Y., Santander, R., & Urzúa, A. (2009). Efficacy of essential oils from edible plants as insecticides against the house fly, *Musca domestica* L. *Molecules*, 14(5), 1938-1947.
- Papachristos, D. P., & Stamopoulos, D. C. (2002). Repellent, toxic and reproduction inhibitory effects of essential oil vapours on *Acanthoscelides obtectus* (Say)(Coleoptera: Bruchidae). *Journal of stored products research*, 38(2), 117-128.
- Petrović, M., Popović, A., Kojić, D., Šućur, J., Bursić, V., Aćimović, M., Malenčić, D., Stojanović, T., Vuković, G., (2019). Assessment of toxicity and biochemical response of *Tenebrio molitor* and *Tribolium confusum* exposed to *Carum carvi* essential oil. *Entomol. Gen.* 38, 333–348. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2019/0697>
- Perry, S., Clark, J. T., Ngo, P., & Ray, A. (2024). Receptors underlying an odorant's valence across concentrations in *Drosophila* larvae. *Journal of Experimental Biology*, 227(9), jeb247215.
- Rajendran, S., & Sriranjini, V. (2008). Plant products as fumigants for stored-product insect control. *Journal of stored products Research*, 44(2), 126-135.
- Saeidi, M., Moharramipour, S., Sefidkon, F., & Aghajanzadeh, S. (2011). Insecticidal and repellent activities of *Citrus reticulata*, *Citrus limon* and *Citrus aurantium* essential oils on *Callosobruchus maculatus*. *Integrated Protection of Stored Products IOBC/WPRS Bulletin*, 69, 289-293.
- Silwanyana, Y., Mazwi, V., Miya, G., Oriola, A. O., Hosu, Y. S., Oyediji, A. O., ... & Kuria, S. K. (2025). Effectiveness of citrus essential oils as a biopesticide against stored food product pests: A review. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 28(2), 224-240
- Silwanyana, Y., Oriola, A. O., Miya, G. M., Hosu, Y. S., Oyediji, A. O., Oyediji, O. O., & Kuria, S. K. (2026). Citrus Limonene as a Potential Source of Biopesticides Against Maize Weevils. *Agriculture*, 16(6), 703.
- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Yadav, M. P. (2021). Insights into the chemical composition and bioactivities of citrus peel essential oils. *Food Research International*, 143, 110231.
- Tiring, G. (2025). Chemical profile and repellent effects of two essential oils on *Tribolium confusum* Jacquelin du Val, 1863 (Coleoptera: Tenebrionidae). *Mediterranean Agricultural Sciences*, 38(2), 63-67
- Ferhat, M. A., Meklati, B. Y., & Chemat, F. (2007). Comparison of different isolation methods of essential oil from Citrus fruits: cold pressing, hydrodistillation and microwave 'dry' distillation. *Flavour and fragrance journal*, 22(6), 494-504.
- Francikowski, J., Baran, B., Cup, M., Janiec, J., & Krzyżowski, M. (2019). Commercially available essential oil formulas as repellents against the stored-product pest *Alphitobius diaperinus*. *Insects*, 10(4), 96.
- Hill, D.S. (2002): *Pests of Stored Foodstuf and their Control*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht , 220-235.

Cagan, L', Fuskova, M. A., Hlavkova, D., & Habustova, O. S. (2022). Essential Oils: Useful Tools in Storage-Pest Management. *PLANTS-BASEL*, 11(22).

Campolo, O., Malacrinò, A., Zappalà, L., Laudani, F., Chiera, E., Serra, D., ... & Palmeri, V. (2013). Fumigant bioactivity of five Citrus essential oils against *Tribolium confusum*. *Phytoparasitica*, 42(2), 223-233.

Campolo, O., Giunti, G., Russo, A., Palmeri, V., & Zappalà, L. (2018). Essential oils in stored product insect pest control. *Journal of Food Quality*, 2018(1), 6906105.

Chaubey, M. K. (2019). Essential oils as green pesticides of stored grain insects. *European Journal of Biological Research*, 9(4), 202-244.

Штрбац, П. (2002): Штеточине ускладиштених производа. Издавач Пољопривредни факултет, Универзитет у Новом Саду, 3-147

Yu, J. (2025). Chemical composition of essential oils and their potential applications in postharvest storage of cereal grains. *Molecules*, 30(3), 683.