



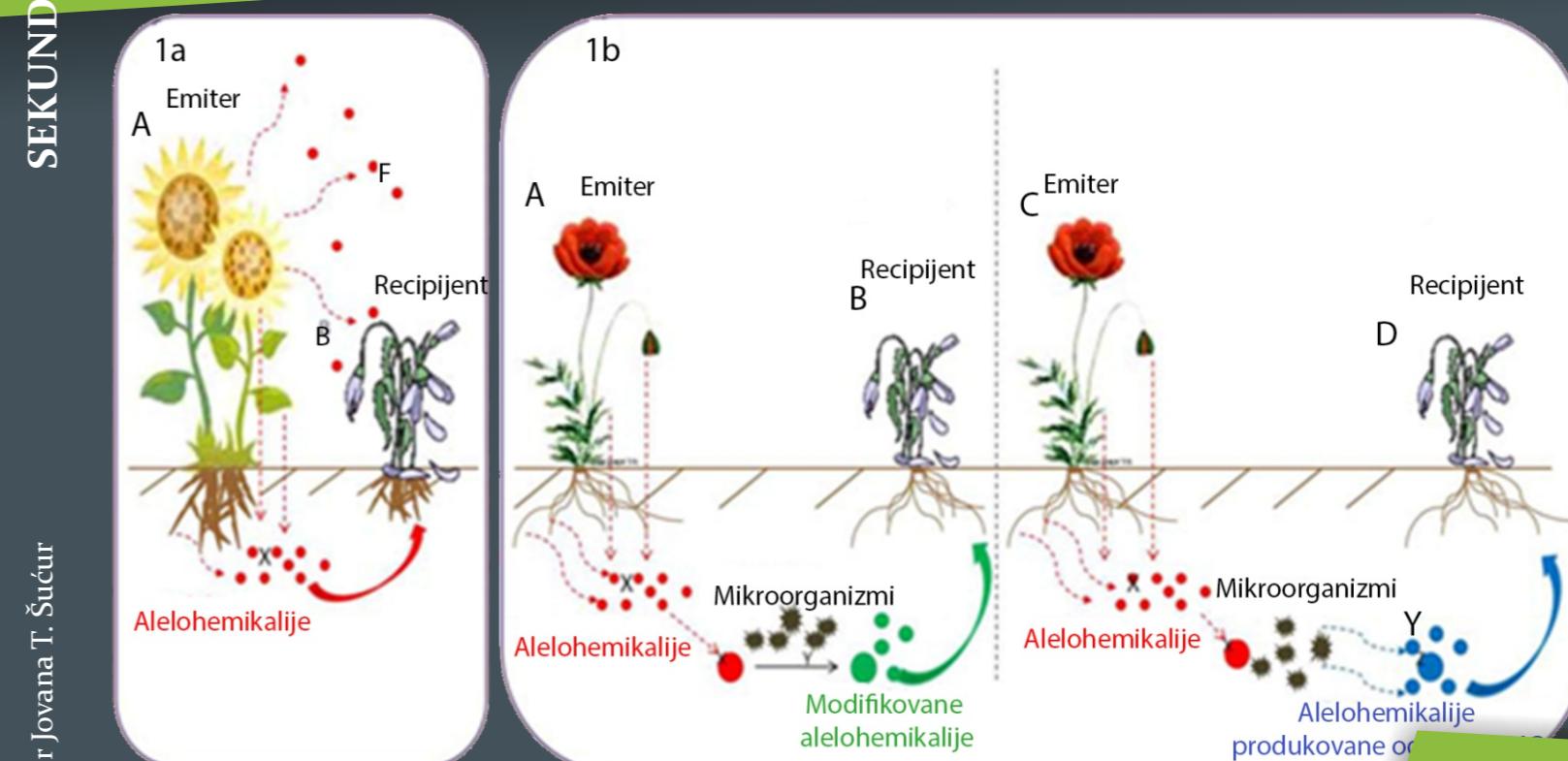
UNIVERZITET U NOVOM SADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

SEKUNDARNI BIOMOLEKULI
U ALELOPATIJI



SEKUNDARNI BIOMOLEKULI U ALELOPATIJI

dr Jovana T. Šućur



dr Jovana T. Šućur



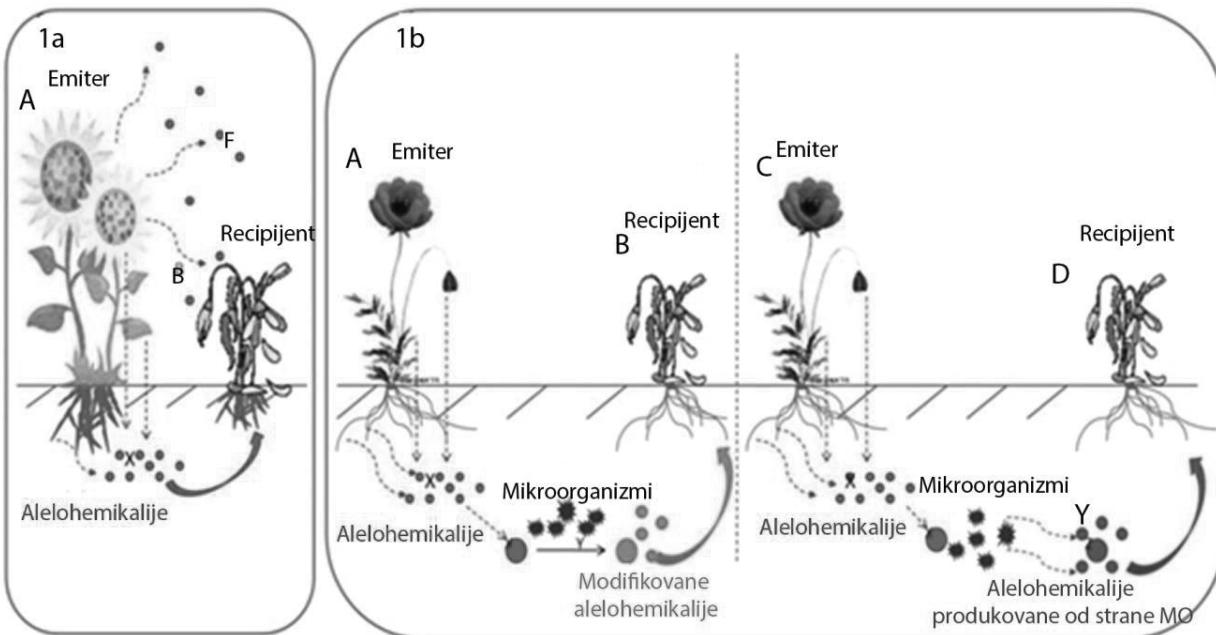


UNIVERZITET U NOVOM SADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

dr Jovana T. Šućur

SEKUNDARNI BIOMOLEKULI U ALELOPATIJI

-Monografija-



Novi Sad, 2021.

Edicija

Monografija

Izdavač edicije

Poljoprivredni fakultet, Novi Sad
Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad

Godina osnivanja
1954.

Glavni i odgovorni urednik

dr Nedeljko Tica, redovni profesor
Dekan Poljoprivrednog fakulteta

Članovi Komisije za izdavačku delatnost

dr Ljiljana Nešić, redovni profesor -predsednik
dr Branislav Vlahović, redovni profesor – član
dr Milica Rajić, redovni profesor - član
dr Nada Plavša, vanredni profesor - član

UNIVERZITET U NOVOM SADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

dr Jovana T. Šućur

**SEKUNDARNI BIOMOLEKULI
U ALELOPATIJI**

-Monografija-

Novi Sad, 2021.

Autor

dr Jovana T. Šućur

Glavni i odgovorni urednik

dr Nedeljko Tica
Dekan Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu

Recenzenti

dr Dejan Prvulović, vanredni profesor
Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet
dr Suzana Jovanović-Šanta, vanredni profesor
Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet
dr Sonja Gvozdenac, naučni saradnik, Institut za ratarstvo i povrtarstvo

Izdavač

Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad

Zabranjeno preštampavanje i fotokopiranje. Sva prava zadržava izdavač.

Štampanje odobrio: Komisija za izdavačku delatnost, Poljoprivredni fakultet,
Novi Sad

Tiraž: 20

Mesto i godina štampanja: Novi Sad, 2021.

Štampa:
Donat Graf, Beograd

*Svojim roditeljima
u znak zahvalnosti
za nesobično pruženu podršku*

Predgovor

Monografija „Sekundarni biomolekuli u alelopatiji“ predstavlja pokušaj da se ispita i definiše uticaj vodenih rastvora samoniklih biljaka na parametre oksidativnog stresa biljaka koje se gaje i korova koje treba eliminisati kao osnova za primenu alelopatskih interakcija u agronomskoj praksi. Upotreba alelohemikalija ima izuzetan potencijal kao komponenta ukupne strategije u borbi protiv korova i kao značajan korak u razvoju održivih sistema zemljoradnje sa smanjenom upotrebom sintetičkih herbicida. S obzirom na to da prirodni proizvodi predstavljaju ekološki prihvatljiviji način za suzbijanje štetočina od sintetičkih preparata, jer su biorazgradivi i manje toksični, važno je ispitati i insekticidnu aktivnost ekstrakata samoniklih biljaka. U monografiji su prikazani originalni rezultati ispitivanja vodenih rastvora i etarskih ulja samoniklih biljaka familije Lamiaceae na korovske i ratarsko-povrtarske biljke, insekte i mikroorganizme.

Zahvaljujem se recenzentima dr Dejanu Prvuloviću, vanrednom profesoru Poljoprivrednog fakulteta, dr Suzani Jovanović-Šanta, vanrednom profesoru Prirodno-matematičkog fakulteta i dr Sonji Gvozdenac, naučnom saradniku Instituta za ratarstvo i povrtarstvo na korekcijama rukopisa i korisnim sugestijama.

Monografiju posvećujem svojoj porodici u znak zahvalnosti za pruženu podršku i ljubav tokom savladavanja zadataka koje život donosi.

Autor

Novi Sad, 2021.

Sadržaj

1. Uvod.....	3
2. Sekundarni biomolekuli biljaka	4
2.1. Biljni fenoli.....	5
2.1.1. Fenolne kiseline – derivati benzoeve kiseline i derivati cimetne kiseline	6
2.1.2. Kumarini	9
2.1.3. Hinoni	9
2.1.4. Flavonoidi	10
2.2. Terpeni.....	13
2.3. Etarska ulja.....	16
3. Oksidativni stres i antioksidativni sistemi zaštite biljaka	18
3.1. Oksidativni stres u biljkama	18
3.2. Lipidna peroksidacija	21
3.3. Antioksidativni sistemi zaštite	22
3.3.1. Enzimski antioksidanti.....	23
3.3.2. Neenzimski antioksidanti	25
3.3.3. Fenolna jedinjenja kao prirodni antioksidanti	27
4. Alelopatija	32
4.1. Interakcija biljka-biljka	32
4.2. Uloga etarskih ulja u interakciji biljka-insekt	44
5. Alelopatski potencijal vodenih rastvora samoniklih biljaka.....	46
5.1. Biljni materijal	46
5.2. Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA kod test-biljaka tretiranih vodenim rastvorom <i>Satureja montana</i> L.....	47
5.3. Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA kod test-biljaka tretiranih vodenim rastvorom <i>Salvia sclarea</i> L	62
5.4. Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA kod test-biljaka tretiranih vodenim rastvorom <i>Clinopodium menthifolium</i> Host.	75
6. Insekticidno dejstvo vodenih rastvora i etarskih ulja samoniklih biljaka.....	91

6.1. Insekticidno dejstvo vodenih rastvora <i>S. montana</i> , <i>S. sclarea</i> i <i>C. menthifolium</i> na odrasle jedinke žitnog kukuljičara.....	91
6.2. Insekticidno dejstvo vodenih rastvora <i>S. montana</i> , <i>S. sclarea</i> i <i>C. menthifolium</i> na odrasle jedinke bele leptiraste vaši.....	95
6.3. Insekticidno dejstvo etarskih ulja <i>S. montana</i> , <i>S. sclarea</i> i <i>C. menthifolium</i> na adulte kestenjastog brašnara i pirinčanog žiška	98
7. Uicaj vodenih rastvora samoniklih biljaka na rast mikroorganizama	103
8. Prilog- Metode rada	110
9. Literatura	115
10. Biografija autora.....	136

1. Uvod

Sekundarni biomolekuli biljaka su osnovni agensi biohemiske interakcije biljaka sa spoljašnjom sredinom. Moguće je razlikovati ulogu sekundarnih biomolekula u odnosu između dve biljke (alelopatija), u odnosu između biljaka i insekata, biljaka i mikroorganizama, biljaka i biljojeda i dr. (Zeman i sar., 2011; Kostić i sar., 2012). U poljoprivrednim sistemima interakcije između biljaka mogu da budu deo interferencije između različitih gajenih kultura, kao i između useva i korova. Ovakve interakcije mogu značajno da utiču na produktivnost poljoprivrednih kultura, iz čega je proizašla ideja o potencijalnoj primeni alelopatije, kao perspektivne prirodne strategije za kontrolu korova (Dmitrović, 2012; Sharma i Satsangi, 2013). Tokom dve hiljade godina alelopatija je označavana kao biljna interferencija ili sukob interesa biljaka. Najranija zapažanja o uzajamnim odnosima gajenih kultura i korova zabeležena su u trećem veku pre nove ere, od strane Teofrasta koji se smatra „ocem botanike”, koji u svom delu *Peri phyton historia* primećuje da leblebija (*Cicer arietinum* L.) iscrpljuje zemljište i negativno deluje na razvoj nekih korova (Li i sar., 2010). U strategiji borbe protiv korova alelopatija može biti jedna od važnih komponenti, što bi predstavljalo značajan korak u razvoju održivih sistema zemljoradnje sa smanjenom upotrebom sintetičkih herbicida. Iskorišćavanje alelopatskih pojava sve više dobija na značaju u organskoj poljoprivredi, koja ima značajnu ulogu u očuvanju nivoa plodnosti i mikrobiološke aktivnosti poljoprivrednog zemljišta (Šućur, 2015).

2. Sekundarni biomolekuli biljaka

Sekundarni biomolekuli biljaka su prirodni proizvodi koji nemaju direktnu ulogu u primarnim metaboličkim procesima neophodnim za održavanje života. Značajni su za biljke, jer ih, analogno imunom sistemu životinja, štite od napada bakterija, virusa i gljiva. Mnoge klase sekundarnih biomolekula ispoljavaju biološku aktivnost u samom metabolizmu biljaka (fiziološka aktivnost), kao i u komunikaciji biljke sa okolinom koja je okružuje (ekološka aktivnost) (Popović i sar., 1997). Lekovito bilje predstavlja najstariji lek, a fitoterapija je stara koliko i samo čovečanstvo. Gotovo da i ne postoje područja gde lekovite i aromatične biljke nemaju primenu (Kišgeci, 2005). Aktivne supstance (sekundarni biomolekuli) samoniklih ili gajenih biljaka se frakcionišu, izoluju, identifikuju i proučavaju radi utvrđivanja njihovih fiziološko-biohemijskih karakteristika (Šućur, 2015).

Najznačajniji biosintetski putevi sekundarnih biomolekula obuhvataju:

1. Šikimat-rogenatni put: vodi od aminokiseline fenilalanina do glavnih biljnih fenola, fenilpropanoida (C_6-C_3);
2. Acetat-malonatni (poliketidni) put: vodi do nekih biljnih hinona i do bočno produženog lanca fenilpropanoida, kao npr. velike grupe flavonoida ($C_6-C_3-C_6$);
3. Acetat-mevalonatni put: vodi do nastajanja nekih terpenoida (prvenstveno monoterpena).

2.1. Biljni fenoli

Jedna od najbrojnijih klasa sekundarnih biomolekula su biljni fenoli, koje karakteriše prisustvo bar jednog aromatičnog prstena, sa bar jednom slobodnom ili modifikovanom (etarski, estarski ili glikozidno) hidroksilnom grupom. Biljni fenoli su klasifikovani prema strukturnoj kompleksnosti i biosintetskom poreklu (Tabela 1.). Fenolne kiseline i flavonoidi su od svih polifenola najčešće predmet naučnih istraživanja.

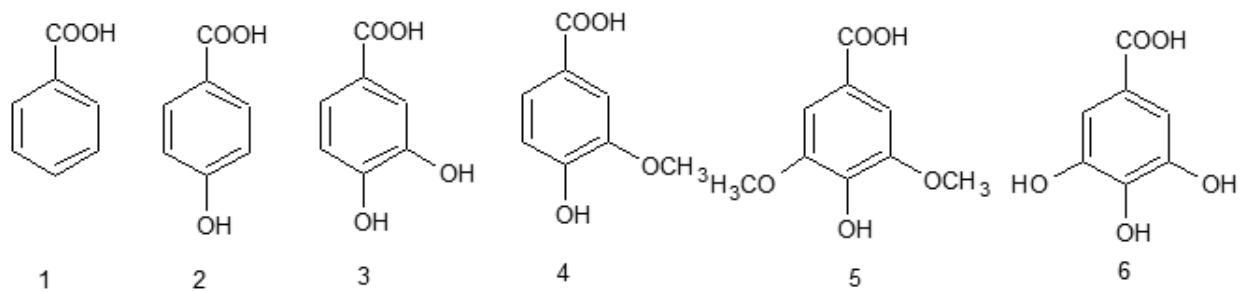
Tabela 1. Klasifikacija fenolnih jedinjenja (modifikovano prema Strack, 1997; Šućur, 2015).

	Klasa	Primeri
C ₆	Prosti fenoli	Katehol, hidrohinon
C ₆ -C ₁	Hidroksibenzoeve kiseline	<i>p</i> -hidroksibenzoeva kiselina, salicilna kiselina
C ₆ -C ₂	Fenilsiréetne kiseline	<i>p</i> -hidroksifenilsiréetna kiselina
C ₆ -C ₃	Cimetne kiseline	Kafena kiselina
	Fenilpropeni	Eugenol
	Kumarini	Eskuletin
	Hromoni	Eugenin
C ₆ -C ₄	Naftohinoni	Juglon
C ₆ -C ₁ -C ₆	Ksantoni	Mangiferin
C ₆ -C ₂ -C ₆	Stilbeni	Rezveratrol
	Antrahinoni	Emodin
C ₆ -C ₃ -C ₆	Flavonoidi	Kvercetin, rutin
(C ₆ -C ₃) ₂	Lignani	Pinorezinol
(C ₆ -C ₃ -C ₆) ₂	Biflavonoidi	Amentoflavon
(C ₆ -C ₃)n	Lignini	Gvajacil lignin
(C ₆ -C ₃ -C ₆)n	Kondenzovani tanini	Polimeri katehina

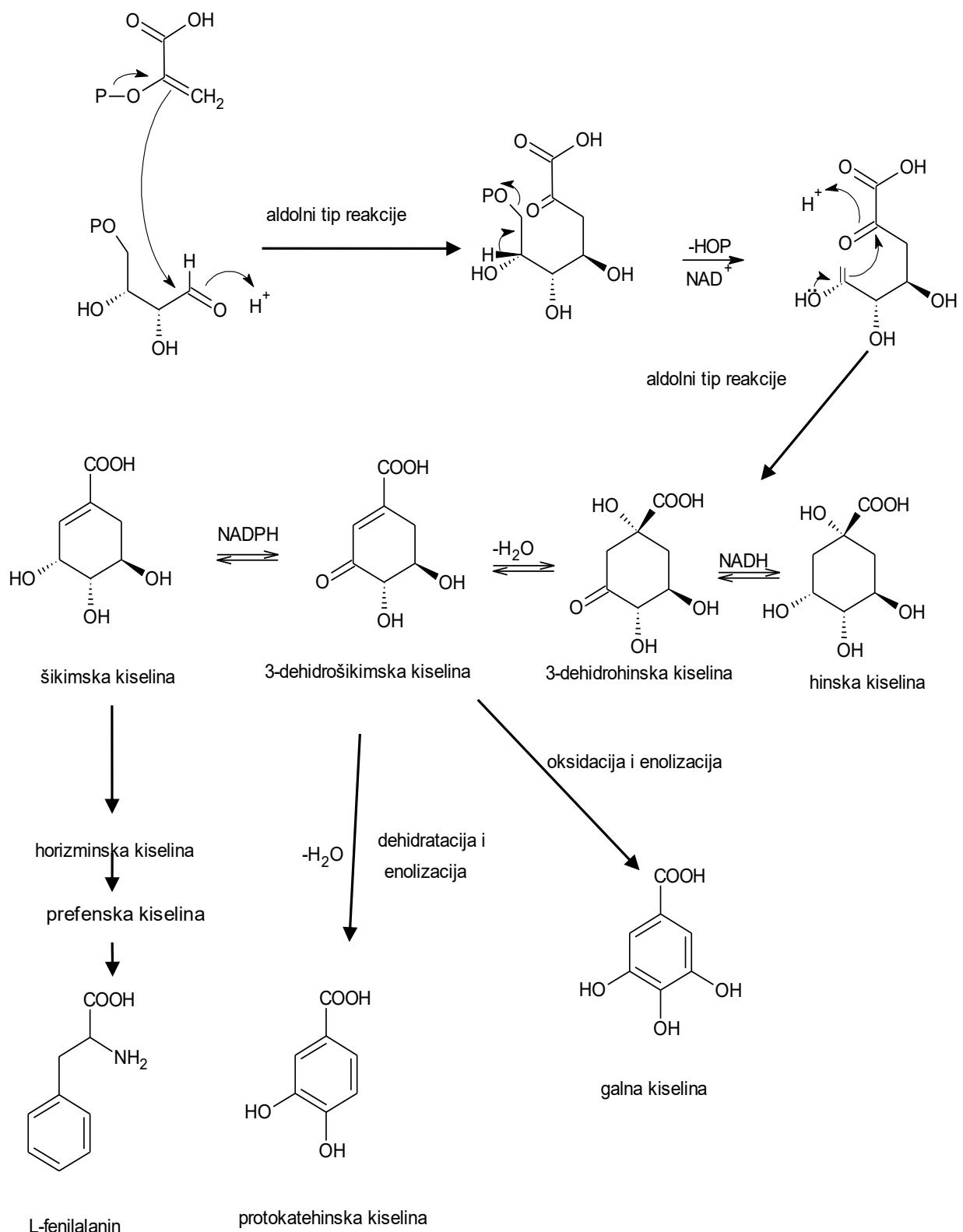
2.1.1. Fenolne kiseline – derivati benzoeve kiseline i derivati cimetne kiseline

Fenolne kiseline zastupljene u biljnom svetu predstavljaju derivate benzoeve kiseline ili hidroksibenzoeve kiseline. Imaju C₆-C₁ strukturu, tj. sastoje se od fenolnog jezgra i bočnog niza koji sadrži jedan ugljenikov atom. Druga velika grupa jedinjenja koja se podrazumeva pod fenolnim kiselinama jesu derivati cimetne, hidroksicimetne ili fenilpropenske kiseline. Imaju C₆-C₃ strukturu tj. sastoje se od fenolnog jezgra i bočnog niza koji sadrži tri ugljenikova atoma (Orčić, 2010; Castellano, 2012).

Moguća su dva puta biosinteze derivata benzoeve kiseline: direktno iz šikimske kiseline ili degradacijom bočnog niza odgovarajućih cimetnih kiselina (Bell i Charlwood, 1980). Varijacije u strukturi nastaju hidroksilacijom ili metilacijom aromatičnog prstena. U biljnom svetu se najčešće javljaju *p*-hidroksibenzoeva, protokatehinska, vanilinska i siringinska kiselina (Bruneton, 1999) (Slika 1.). Iako se u biljnim tkivima najčešće nalaze u vidu estara sa šećerima, mogu da se nađu i slobodne.

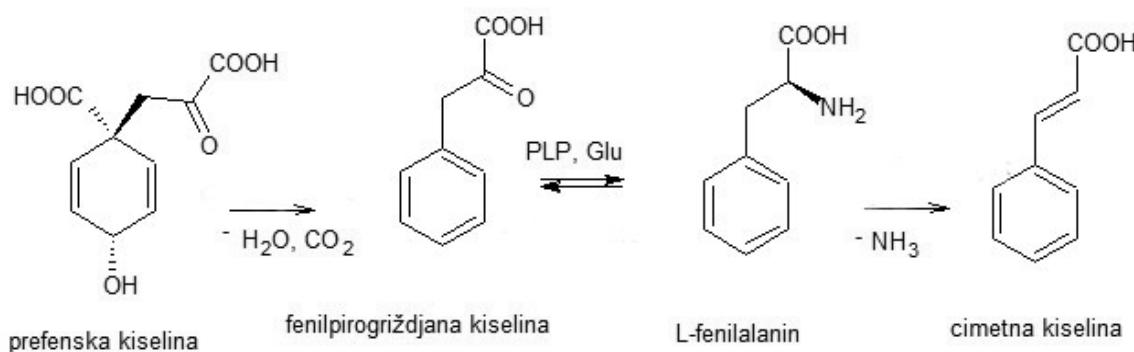


Slika 1. Strukture derivata benzoeve kiseline: (1) benzoeva kiselina, (2) *p*-hidroksibenzoeva kiselina, (3) protokatehinska kiselina, (4) vanilinska kiselina, (5) siringinska kiselina, (6) galna kiselina.



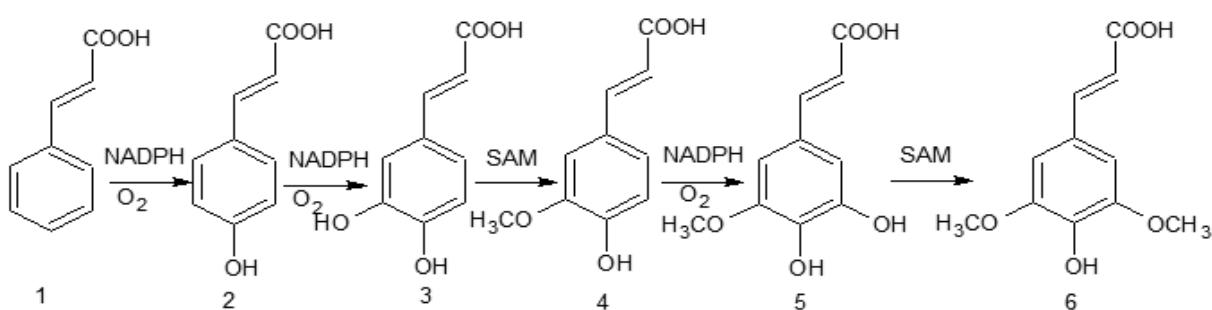
Slika 2. Biosinteza fenolnih kiselina ciklusom šikimske kiseline (Bruneton, 1999; Šućur, 2015).

Većina fenolnih kiselina nastaje u šikimat-rogenatnom (šikimatnom) putu, koji počinje kuplovanjem fosfoenolpiruvata (PEP) i D-eritroza-4-fosfata (E4P), pri čemu nastaje 3-deoksi-D-arabino-heptulozonska kiselina-7-fosfat (DAHP) (Slika 2.). Sekvencom reakcija nastaje 3-dehidrohinska kiselina, koja može ili da se redukuje do hinske kiseline ili da u reakcijama dehidratacije i redukcije pređe u šikimsku kiselinu. Kondenzacijom šikimske kiseline sa fosfoenolpiruvatom nastaje horizminska kiselina. Daljim pericikličnim premeštanjem tipa Claisen-ove kondenzacije nastaje prefenat. Reakcijama dekarboksilacije, aromatizacije i transaminacije nastaje aminokiselina L-fenilalanin, prekursor većine polifenolnih jedinjenja u biljkama. Deaminacijom L-fenilalanina nastaje cimetna kiselina (Slika 3.).



Slika 3. Biosinteza cimetne kiseline (Orčić, 2010).

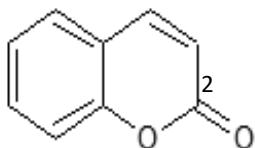
Cimetna kiselina se dalje transformiše reakcijama hidroksilacije i metilacije do kumarinske (*p*-hidroksicimetna kiselina), kafene (2,3-dihidroksicimetna kiselina), ferulne (2-metoksi-3-hidroksicimetna kiselina) i sinapinske kiseline (2,4-dimetoksi-3-hidroksicimetna kiselina) (Bruneton, 1999; Orčić, 2010) (Slika 4.). Navedene fenolne kiseline u prirodi se javljaju u različitim konjugovanim oblicima, najčešće kao estri sa hinskom kiselinom (hlorogenske kiseline). Deluju repelentno na mnoge životinje, pre svega insekte. Pored toga ispoljavaju i alelopatsku ulogu (Popović i Malenčić, 2006).



Slika 4. Biosinteza fenolnih kiselina (Orčić, 2010): (1) cimetna kiselina, (2) *p*-kumarinska kiselina, (3) kafena kiselina, (4) ferulna kiselina, (5) 5-hidroksiferulna kiselina, (6) sinapinska kiselina.

2.1.2. Kumarini

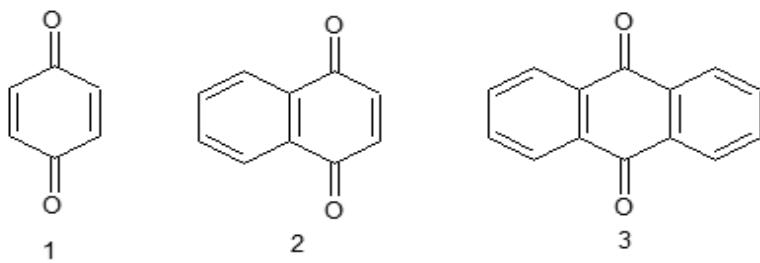
Kumarini predstavljaju biljne metabolite fenilpropanoidne strukture (C_6-C_3), sa 5,6-benzo-2-pironskim skeletom (Slika 5.). Nazivaju se još i benzopiranoni. Obuhvataju više od 1500 jedinjenja. Prekursori u biosintezi kumara su fenilpropenske kiseline hidroksilovane u položaju 2. Pored prostih kumara (7-hidroksikumarin), u biljkama su prisutni i linearni furanokumarini (psoralen), angularni furanokumarini (angelicin), piranokumarini (seselin) i piron-supstituisani kumarini (4-hidroksikumarin). Imaju zaštitnu ulogu koja se zasniva na antimikrobnim i repelentnim svojstvima (Popović i Malenčić, 2006; Orčić, 2010).



Slika 5. Struktura kumara.

2.1.3. Hinoni

Hinoni su u prirodi prisutni kao benzohinoni, naftohinoni i antrahinoni (Slika 6.). Zajednička karakteristika im je da sadrže fenolno jezgro, iako nastaju u različitim biosintetskim putevima.

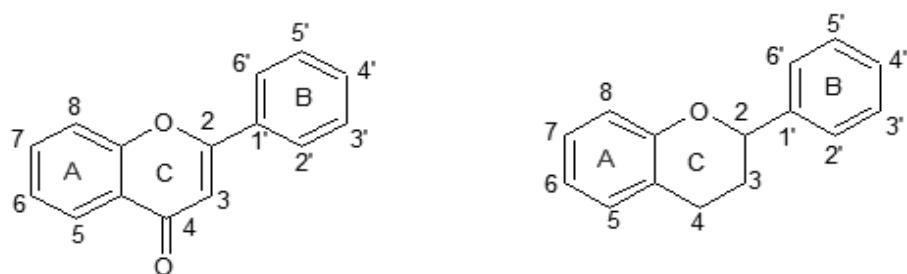


Slika 6. Strukture hinona: (1) benzohinon, (2) naftohinon, (3) antrahinon.

Neki benzohinoni (plastohinon i ubihinon) imaju važnu ulogu u primarnom metabolizmu, dok su sekundarni benzohinoni konstituenti gljivica. Naftohinoni daju boju jezgru i kori drveta, a mogu da deluju i kao alelopatski agensi (npr. juglon-glukozid). Antrahinoni su karakteristični za bakterije, gljivice i lišajeve, kao i neke familije viših biljaka (Popović i Malenčić, 2006).

2.1.4. Flavonoidi

Flavonoidi predstavljaju C₆-C₃-C₆ grupu fenolnih jedinjenja 2-fenilbenzopiranske ((pod)grupa flavana) ili 2-fenil-1,4-benzopirovske strukture ((pod)grupa flavona) (Orčić, 2010; Ghasemzadeh i Ghasemzadeh, 2011; Sandhar i sar., 2011) (Slika 7.). Obuhvataju raznovrsnu grupu od preko 6000 izolovanih i identifikovanih jedinjenja (Ghasemzadeh i Ghasemzadeh, 2011). Flavonoidi se klasifikuju na osnovu stepena oksidacije centralnog piranovog prstena (prstena C), kao i pozicije B prstena (Beecher, 2003).



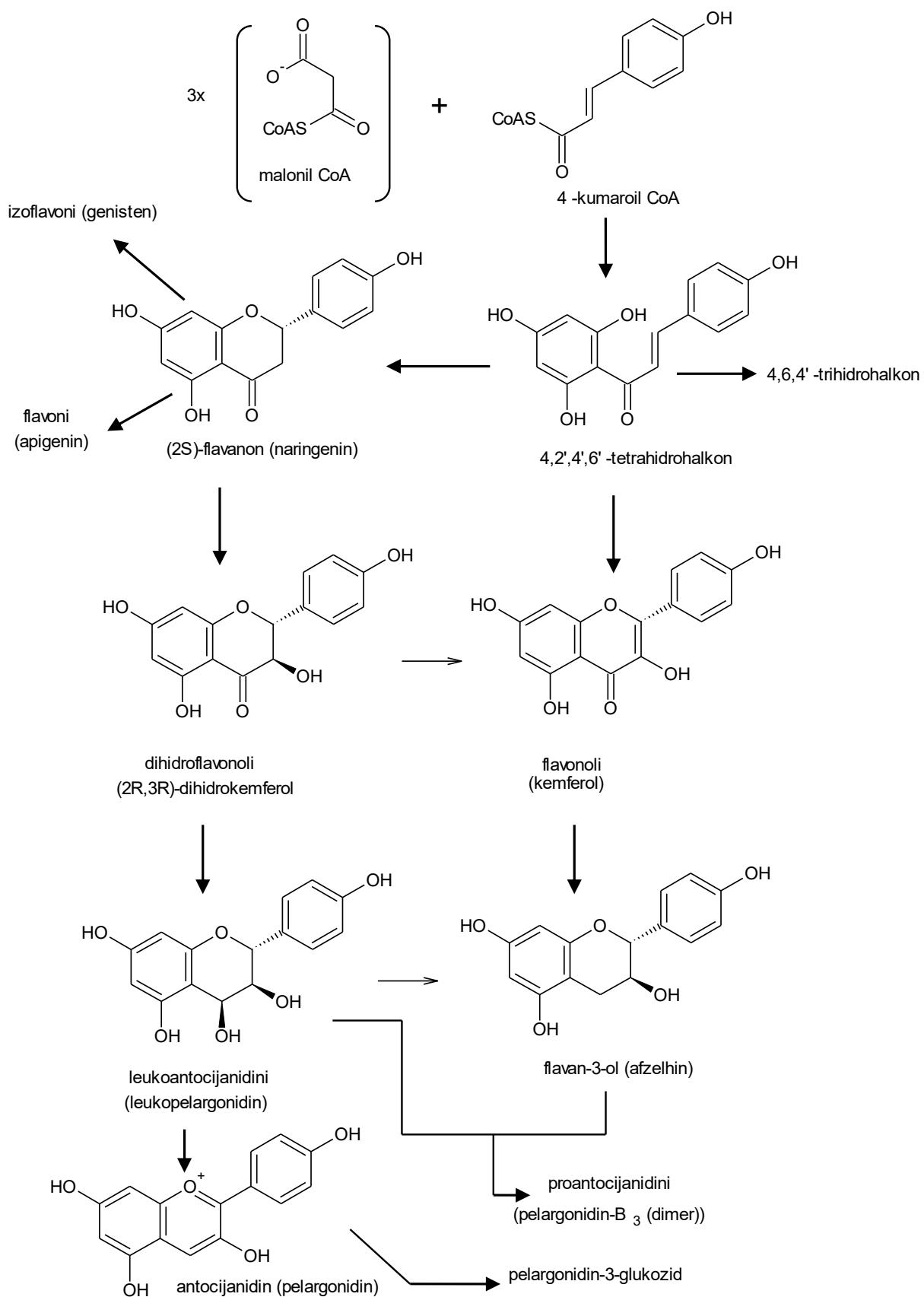
Slika 7. Struktura i numeracija 2-fenil-1,4-benzopirona i 2-fenilbenzopiran.

Po navedenom kriterijumu mogu se podeliti na flavone, flavonole, flavanone, dihidroflavonole (flavanonole), flavan-3,4-diole (leukoantocijanidine), flavan-3-ole (catechine), flavan-4-ole, antocijanidine; jedinjenja bez C prstena – halkone, dihidrohalkone i retrohalkone; aurone, izoflavonoide i oligo- i polimere flavanola (proantocijanidine) (Orčić, 2010).

Flavonoidi nastaju mešovitim biosintetskim putem (acetogeninskim putem i putem šikimske kiseline). Biosinteza flavonoida počinje kondenzacijom tri molekula malonil-CoA sa molekulom 4-kumaroil-CoA. Na ovaj način formira se halkon, 4,2',4',6'-tetrahidrohalkon, čijom ciklizacijom nastaje piranski prsten i formira se molekul naringenin (flavanon). Daljim transformacijama nastaju svi ostali tipovi flavonoidnih molekula: flavoni, flavonoli, flavanoni, dihidroflavonoli, flavan-3,4-dioli, flavan-3-oli, flavan-4-oli, antocijanidini, auroni, halkoni, izoflavonoidi, proantocijanidini (Bruneton, 1999) (Slika 8.).

Raznovrsnost i veliki broj flavonoida posledica su brojnih modifikacija njihove osnovne strukture kao što su hidroksilacije, metilacije hidroksilnih grupa, dimerizacije i glikozilacije (Popović i Malenčić, 2006). U biljkama su najčešće prisutni u konjugovanoj formi, vezani uglavnom u obliku O-glikozida. Glikozilacija je najčešće u poziciji C-3 (flavonoli) i poziciji C-7 (flavoni). Pored O-glikozida postoje i C-glikozidi, gde je šećerna komponenta vezana direktno za C-atom osnovnog skeleta flavonoida (Sandhar i sar., 2011).

Najbrojnije klase flavonoida čine flavoni, flavonoli i flavan-3-oli. Od flavona u biljkama su najzastupljeniji apigenin i luteolin, od flavonola kvercetin, kemferol i miricetin, a od flavan-3-ola (+)catehin, (-)epikatehin, (+)galokatehin i (-)apigalokatehin. Za razliku od ostalih klasa flavonoida, flavan-3-oli su uglavnom prisutni u vidu aglikona (Malenčić, 2001; Orčić, 2010). Glavni predstavnici izoflavona su genistein i daidzein (prisutni u semenu soje). Najzastupljeniji antocijanidini su pelargonidin, cijanidin, delphinidin, petunidin i malvidin, naručito zastupljeni u obojenim plodovima (antocijanidini i njihovi glikozidi antocijani su važna grupa vodorastvornih pigmenata biljaka).



Slika 8. Šema biosinteze flavonoida (Bruneton, 1999; Šućur, 2015).

2.2. *Terpeni*

Terpeni predstavljaju veliku grupu sekundarnih biomolekula biljaka od oko 30.000 jedinjenja (Degenhardt i sar., 2009), izgrađenih iz više izoprenskih jedinica (izoprenska jedinica predstavlja ugljovodonik od 5 C-atoma) međusobno povezanih po sistemu „glava-rep” (Zhang i sar., 2011). Broj prisutnih izoprenskih jedinica određuje naziv terpena. Osnovne klase izoprenoida prisutnih u biljkama date su u Tabeli 2.

Tabela 2. Osnovne klase izoprenoida (Popović i Malenčić, 2006).

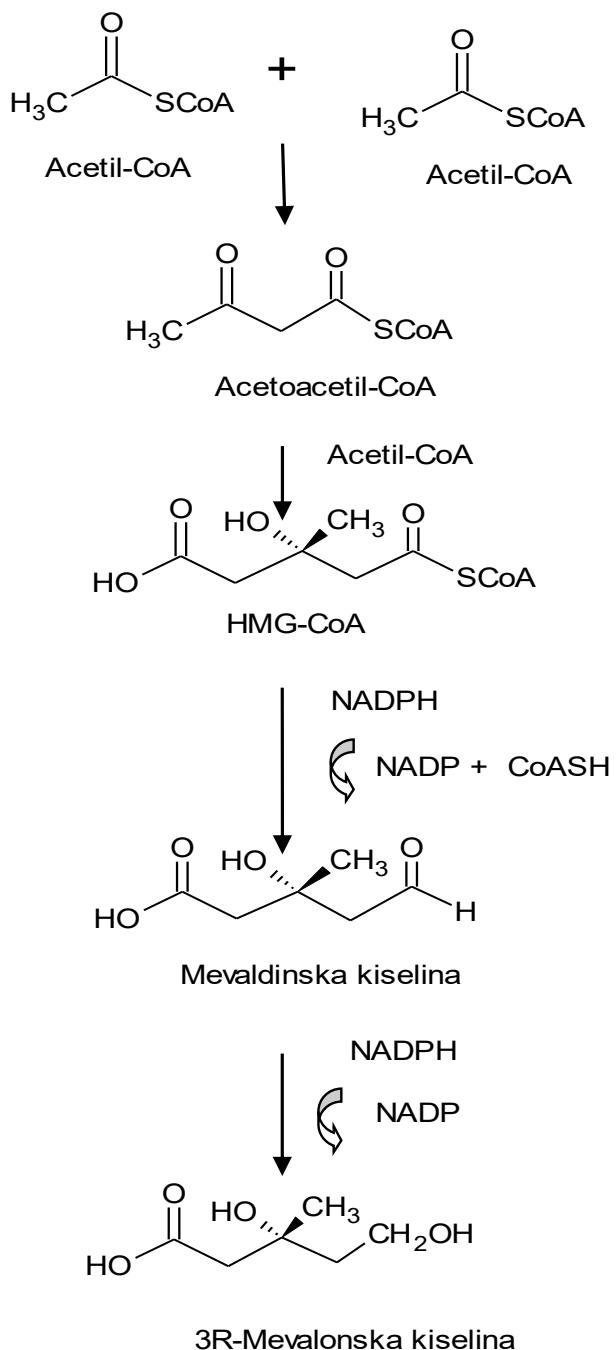
Broj C-atoma	Broj izoprenskih jedinica	Naziv	Prekursor
10	2	Monoterpeni	GPP
15	3	Seskviterpeni	FPP
20	4	Diterpeni	GGPP
25	5	Sesterpeni	GFPP
30	6	Triterpeni	Skvalen
40	8	Tetraterpeni	Fitoen
>40(n)	N	Poliprenoli, gume	GGPP+(C ₅)n

GPP – geranil-pirofosfat; FPP – farnezil-pirofosfat; GGPP

geranilgeranil-pirofosfat; GFPP – geranilfarnezil-pirofosfat

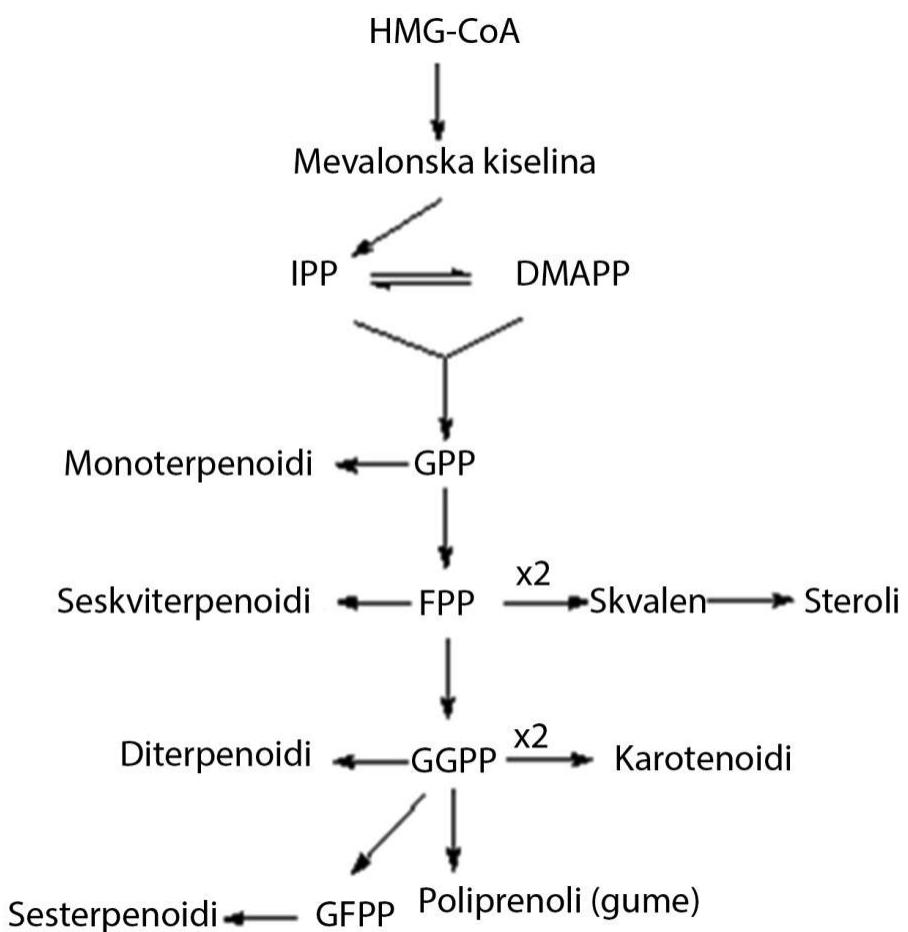
Najznačajnije otkriće u rasvetljavanju puteva biosinteze terpenoida poznato je kao „biogenetsko izoprensko pravilo”, koje je postavio Leopold Ružička, nagrađeno Nobelovom nagradom za hemiju, koje sugeriše da se izoprenoidi sintetizuju iz prostih acikličnih supstanci izoprenske strukture (Croteau, 1998), izopentenil-pirofosfat (IPP) i dimetilalil-pirofosfat (DMAPP), koje su formirane u mevalonatnom putu iz molekula acetil-CoA (Nagegowda, 2010).

Biosinteza mevalonske kiseline započinje kondenzacijom dva molekula acetil-CoA u acetoacetil-CoA, za koji se vezuje još jedan molekul acetil-CoA, uz nastajanje hidroksimetil-glutaril-CoA (HMG-CoA). Iz njega postepenom redukcijom jedne od karbonilnih grupa nastaje mevalonska kiselina. Reakcija je katalizovana enzimom hidroksimetilglutaril-CoA-reduktazom (HMGR; EC 1.1.1.34) (Slika 9.).



Slika 9. Biosinteza mevalonske kiseline (Malenčić, 2001; Šućur, 2015).

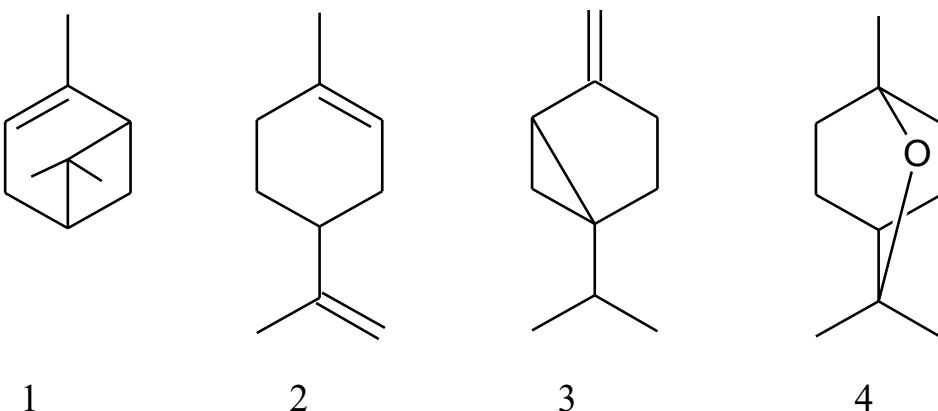
Nastala mevalonska kiselina se dalje postepeno fosforiliše, formirani pirofosfat mevalonske kiseline dekarboksilacijom i otcepljenjem fosfatnog ostatka prelazi u izopentenil-pirofosfat (IPP), koji u reakciji izomerizacije prelazi u dimetilalil-pirofosfat (DMAPP). DMAPP se kondenuje sa sledećim molekulom IPP i daje geranil-pirofosfat (GPP). GPP je ključni intermedijer u biosintezi mono- i seskviterpena. GPP se kondenuje sa sledećim molekulom IPP, formirajući farnezil-pirofosfat (FPP), koji je prekursor u biosintezi seskviterpena. Daljom polimerizacijom nastaje geranilgeranil-pirofosfat (GGPP), iz koga nastaju diterpeni. Dimerizacijom C₂₀-GPP nastaju intermedijeri tipa C₄₀ (Slika 10.) (Jančić i sar., 1995).



Slika 10. Osnovni putevi u biosintezi izoprenoida (Malenčić, 2001).

2.3. Etarska ulja

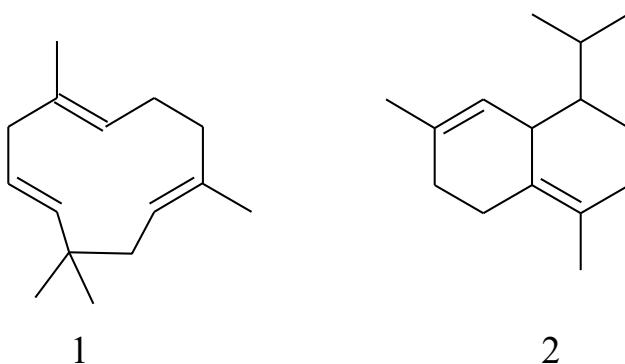
Eatarska ulja predstavljaju smeše različitih hemijskih jedinjenja, među kojima preovladavaju terpeni (monoterpeni, seskviterpeni, diterpeni i njihovi oksidovani produkti (terpenoidi)), ređe isparljivi fenoli i neterpenska alifatična jedinjenja (Tongnuanchan i Benjakul, 2014). To su lako isparljive uljaste tečnosti, dobijene iz aromatičnih biljaka različitim fizičkim postupcima.



Slika 11. Strukture monoterpena: (1) α -pinen, (2) limonen, (3) sabinen, (4) 1,8-cineol.

Monoterpeni su klasa terpena izgrađena iz 10 ugljenikovih atoma, tj. dve izoprenske jedinice (Slika 11.). To su biološki aktivna jedinjenja prijatnog mirisa, zbog čega su našla široku primenu u farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji (Zhang i sar., 2011).

Seskviterpeni su izgrađeni iz 15 ugljenikovih atoma, tj. tri izoprenske jedinice (Slika 12.). Raznovrsnost u strukturi je posledica biohemijskih modifikacija kao što su oksidacije, ciklizacije i glikozilacije. Smatra se da se u nekim biljkama seskviterpeni sintetišu kao odgovor na stres (Chadwick i sar., 2013). Pokazuju svojstva insekt-antifidnih supstanci, insekatskih hormona i feromona, fitoaleksina, antibiotika i regulatora rastenja biljaka (Stanković i sar., 2006).



Slika 12. Strukture seskviterpena: (1) humulen, (2) δ -kadinen.

Diterpeni su izgrađeni iz 20 ugljenikovih atoma, tj. četiri izoprenske jedinice. Većinom su biljnog i fungalnog porekla. Javljuju se kao smeše vrlo sličnih, retko acikličnih, uglavnom di-, tri- i tetracikličnih jedinjenja. U etarskom ulju su prisutni u veoma niskim koncentracijama (Tongnuanchan i Benjakul, 2014).

Monoterpeni i seskviterpeni se razlikuju po isparljivosti, prvi ključaju na 140–180 °C, a drugi na temperaturi višoj od 200 °C. Iz tog razloga su u isparljivijim frakcijama zastupljeni monoterpeni i jednostavnii seskviterpeni, dok su u neisparljivim frakcijama i smolama zastupljeni polioksidovani seskviterpeni i diterpeni (Kostić i sar., 2012).

Etersko ulje biljaka, pored terpena, sačinjavaju i alifatična jedinjenja tipa dodekana, tridekana, tetradekana, dekanola i dr.; aromatična jedinjenja poput derivata benzoeve kiseline, fenil-propanoidi, kumarini, eugenol, apiol, miristicin i dr.; zatim azotna jedinjenja neprijatnog mirisa, najčešće derivati indola ili alifatičnih amina; kao i sumporna jedinjenja, izosulfocijanati i organski disulfidi, ljutog i neprijatnog mirisa (Malenčić, 2001).

3. Oksidativni stres i antioksidativni sistemi zaštite biljaka

3.1. Oksidativni stres u biljkama

Slobodni radikali su veoma nestabilni i reaktivni molekulski oblici (kratkoživeći ali hemijski veoma aktivni), koji nastaju uklanjanjem jednog elektrona iz elektronskog para ili primanjem elektrona koji je odgovoran za njihovu nestabilnost. Prisustvo jednog ili više nesparenih elektrona omogućava slobodnim radikalima da brzo reaguju sa biomolekulima sa kojima dolaze u kontakt i da izazovu oštećenja na njima. Nespareni elektron u spoljašnjoj orbitali slobodnog radikala teži da se stabilizuje sparivanjem sa drugim elektronom nekog molekula u okruženju, tzv. neradikala, pri čemu nastaju novi sekundarni slobodni radikali. Na taj način jednom produkovan slobodni radikal može da izazove niz lančanih reakcija sa drugim manje reaktivnim molekulima (Stevanović i sar., 2011; Vulić, 2012).

Najznačajniju klasu slobodnih radikalnih vrsta u živim sistemima predstavljaju radikali koji potiču od kiseonika. Kiseonik, iako neophodan za život svih aerobnih organizama, može biti izuzetno toksičan (Halliwell i Gutteridge, 1985). Toksično dejstvo kiseonika pripisuje se prooksidativnom delovanju reaktivnih kiseoničnih vrsta (ROS – engl. *Reactive Oxygen Species*). Prooksidanti su hemijske vrste koje u biološkim i hemijskim sistemima uzrokuju ili ubrzavaju reakcije oksidacije (Stajčić, 2012).

Izvori nastanka reaktivnih kiseoničnih vrsta mogu biti endogenog (proces respiracije – mitohondrijalni respiratorni lanac, aktivnost fagocita – povećana fagocitna aktivnost na mestu oštećenja tkiva, autooksidacija biomolekula) i egzogenog porekla (ekološki faktori, poput vodnog režima, visoke i niske temperature, ozona, smoga, herbicida, prisustva teških metala, metabolizma

toksičnih jedinjenja i lekova, ksenobiotika i ionizujućeg zračenja) (Malenčić i sar., 2010; Stevanović i sar., 2011; Veličković, 2013; Rahal i sar., 2014). Nekontrolisanu produkciju i akumulaciju reaktivnih kiseoničnih vrsta mogu izazvati i alelohemikalije jedne biljke u drugoj biljci na koju deluju (Inzé i Van Montagu, 1995; Weir i sar., 2004; Gniazdowska i Bogatek, 2005).

Najvažnije reaktivne kiseonične čestice su: slobodni radikali - superoksid anjon radikal, O_2^- ; hidroksil-radikal, $\cdot OH$; hidroperoksil-radikal $HO_2\cdot$; peroksil-radikal $RO_2\cdot$; alkoksil-radikal, $RO\cdot$; karbonatni radikal, CO_3^{2-} ; ugljendioksidni radikal, CO_2^- i neradikalski oblici - vodonik-peroksid, H_2O_2 ; hipobromna kiselina, $HOBr$; hipohlorna kiselina, $HOCl$; ozon, O_3 ; singletni kiseonik, ${}^1\Delta gO_2$; organski peroksiidi, $ROOH$; peroksinitrit, $ONOO^-$; peroksinitritna kiselina, $HONOO$ (Halliwell i Whiteman, 2004).

Superoksid anjon radikal (O_2^-) nastaje jednoelektronskom redukcijom molekula kiseonika ili jednoelektronskom oksidacijom vodonik-peroksidu. Značajne količine se produkuju u reakcijama katalizovanim oksidazama (u biljnim tkivima to su ksantin-oksidaza i galaktoza-oksidaza) ili autooksidacijom nekih redukovanih jedinjenja kao što su redukovani flavini, pteridini, difenoli i feredoksin. Najvažniji izvor superoksid anjon radikala u većini ćelija aerobnih organizama je elektron-transportni lanac mitohondrija, u kojem je glavni izvor elektrona redukovana forma koenzima Q (Shaw i Jayatilleke, 1990; Popović i Štajner, 2008). Nepotpunom redukcijom kiseonika za vreme oksidativne fosforilacije može da se prevede od 1 do 3% kiseonika u toksični superoksid anjon radikal (Stevanović i sar., 2011). Iz formiranog superoksid anjon radikala nastaju druge ROS, vodonik-peroksid i hidroksil-radikal.

Vodonik-peroksid se svrstava u reaktivne vrste kiseoničnih čestica, bez obzira što nije radikal. Dvoelektronskom redukcijom molekula kiseonika nastaje peroksidni jon (O_2^{2-}), koji u prisustvu protona daje vodonik-peroksid (H_2O_2). Iako je vodonik-peroksid, u poređenju sa ostalim reaktivnim kiseoničnim vrstama, najmanje reaktivan molekul, veoma je štetan, jer lako stupa u reakciju

sa jonima metala, npr. Fe^{2+} , pri čemu *Fenton*-ovom reakcijom nastaju hidroksil-radikali (Mandal i sar., 2013). Toksičnost superoksid anjon radikala i vodonik-peroksida objašnjava se njihovim prevođenjem u mnogo reaktivniji hidroksil-radikal, iako na neke molekule mogu da deluju direktno (Halliwell, 2012).

Hidroksil-radikal ($\cdot\text{OH}$) je izuzetno hemijski reaktivan, predstavlja najreaktivniju kiseoničnu česticu, koja reaguje u blizini mesta nastajanja. Može da nastane dejstvom ionizujućeg zračenja, raskidanjem O-O veze u molekulu H_2O_2 delovanjem povišene temperature, *Fenton*-ovom reakcijom (odn. razlaganjem vodonik-peroksida u prisustvu jona Fe^{2+} kao katalizatora) ili reakcijom vodonik-peroksida i superoksid anjon radikala u *Haber-Weiss*-ovoj reakciji (Chen i Schopfer, 1999; Barrera, 2012). Formirani hidroksil-radikal napada primarne biomolekule, inicirajući proces peroksidacije lipida, oštećenje lanca DNK ili oksidaciju bilo kog biomolekula u neposrednoj okolini (Inzé i Van Montagu, 1995; McCord, 2000). Ćelijska membrana organela ne predstavlja barijeru za difuziju H_2O_2 i ONOO^- , tako da mogu da indukuju oksidativni stres u bilo kojem delu ćelije (Groves, 1999).

Pri normalnim fiziološkim uslovima, produkcija prooksidativnih vrsta je u ravnoteži sa antioksidativnom zaštitom organizma. Međutim, pod uticajem različitih endogenih ili egzogenih faktora ravnoteža može da se naruši, odnosno može da dođe do povećane produkcije prooksidanata ili smanjenja antioksidativne zaštite организма (Apel i Hirt, 2004; Đilas i sar., 2010). Stanje u kome je došlo do poremećaja između produkcije reaktivnih kiseoničnih vrsta i sistema zaštite definiše se pojmom oksidativni stres (Dotan i sar., 2004; Mimica-Dukić i sar., 2010; Rahal i sar., 2014). Tokom oksidativnog stresa povećana je produkcija različitih reaktivnih oblika kiseonika. Svi oni mogu da reaguju sa primarnim biomolekulima, uzrokujući peroksidaciju esencijalnih membranskih lipida u intracelularnim organelama, oksidativnu modifikaciju proteina i inhibiciju enzima, kao i modifikaciju lanca DNK, usled čega ćelija polako gubi integritet i podleže nekrozi (Apel i Hirt, 2004; Elavarthi i Martin, 2010).

3.2. *Lipidna peroksidacija*

Lipidna peroksidacija je lančani slobodnoradikalски процес у којем сlobodни радикали оксидују молекуле незасићених масних киселина мембраничких липида (Abuja i Albertini, 2001). Интензивна пероксидација липида доводи до нарушавања структуре и промене permeabilности и fluidnosti биолошких мембрана, опадања вредности мембранског потенцијала, повећања permeabilности према H^+ и другим јонима, чиме се нарушава интегритет ћелије, па долази до изливљања нjenog садрžaja (Yoshida i sar., 2003; Štefan i sar., 2007; Barrera, 2012). Пероксиди nastali u toku ovog процеса, као и njihovi degradacioni proizvodi, mogu da reaguju sa proteinima i lancima DNK, delujući kao mutageni agensi (Marnett, 1999).

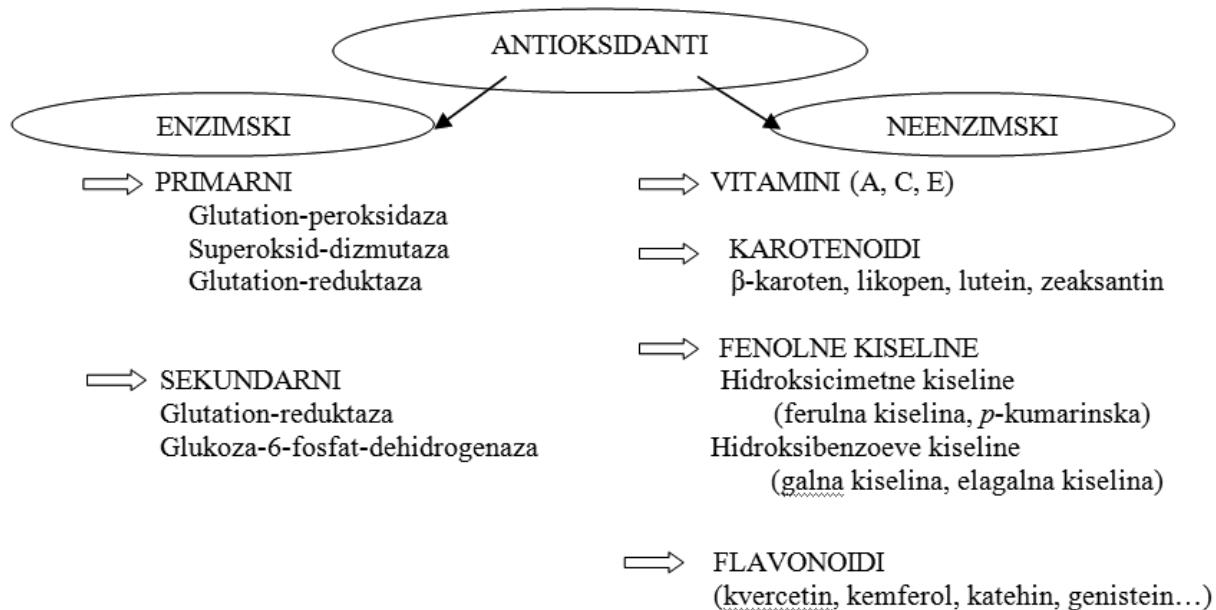
Lipidna peroksidација се одвија у три фазе: иницијација, propagација и terminacija. Током фазе иницијације долази до eliminacije водониковог атома метиленске групе молекула незасићене масне кисeline (LH) под утицајем снаžног оксиданта, нпр. hidroksил-радикала, пероксилен-радикала и др. Настали алкил-радикал ($L\cdot$) у фази propagације intramolekulskim premeštanjem dvostrukе везе прелази у конјуговани dien, који са кисеоником gradi пероксилен-радикал ($LOO\cdot$). Пероксилен-радикал омогућава nastavak lančane reakcije oduzimanjem водониковог атома од суседног молекула незасићене масне кисeline, при чему се формира нови алкил-радикал, dok se пероксилен-радикал stabilizuje gradeći hidroperoksid ($LOOH$). На овај начин се фаза propagације ponavlja više puta. Hidroperokсиди подлеžу daljim reakcijama, при чему се stvaranju novi slobodni radikali, или се razlažu do aldehida, најчешће malondialdehida (MDA), i isparljivih ugljovodonika. Treća фаза lipidne peroksidације, terminacija, обухвата reakcije koje se odigravaju između slobodnih radikala (dva алкил-радикала, dva пероксилен-радикала или комбинација ова два), при чему nastaju терцијарни производи оксидације, stabilni i nereaktivni dimeri i polimeri (Girotti, 1985; Abuja i Albertini, 2001; Niki i sar., 2005). У navedenim lančanim

reakcijama dolazi do oštećenja velikog broja lipida, naročito kod gusto pakovanih bioloških membrana (Orčić, 2010).

3.3. Antioksidativni sistemi zaštite

Da bi se zaštitile od oksidativnih oštećenja izazvanih reaktivnim kiseoničnim česticama, biljke su tokom evolucije razvile enzimske i neenzimske antioksidativne sisteme zaštite, koji mogu da spreče ili smanje intenzitet oksidativnih procesa u njihovim tkivima i organima. Antioksidanti su supstance koje, prisutne u manjoj koncentraciji u odnosu na supstrat koji se oksiduje, mogu da spreče njegovu oksidaciju (Niki, 2010; Ghasemzadeh i Ghasemzadeh, 2011; Lopez-Alarcona i Denicolab, 2013).

Prema načinu delovanja antioksidanti se dele na enzimske (prva linija odbrane) i neenzimske (sekundarna linija odbrane) (Slika 13.) (Meda i sar., 2005; Kelly da Silva i sar., 2013).

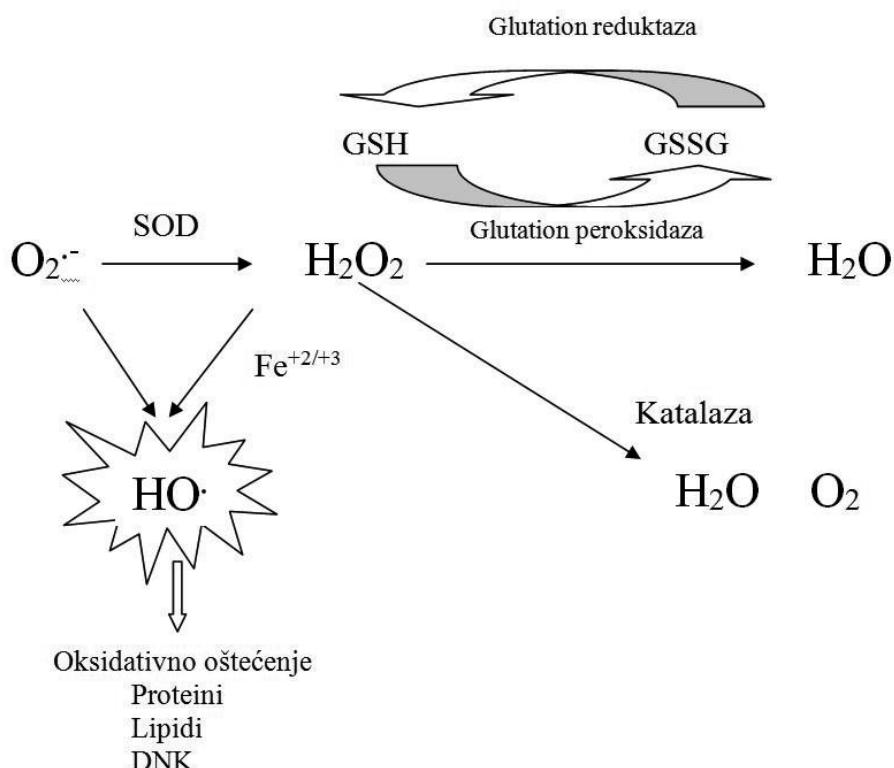


Slika 13. Podela antioksidanata (modifikovano prema Moharram i Youssef, 2014; Šućur, 2015).

Sa funkcionalnog aspekta antioksidanti se mogu podeliti u dve kategorije: preventivne antioksidante, koji deaktiviraju aktivne kiseonične vrste sprečavajući ih da formiraju nove radikale, i antioksidante koji prekidaju lančane reakcije oksidacije, tako što deluju kao „hvatači“ kiseoničnih radikala, transformišući ih u stabilne, neradikalske proizvode (Niki, 1987).

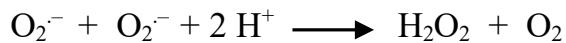
3.3.1. Enzimski antioksidanti

Od enzima koji učestvuju u antioksidativnoj zaštiti, i koji imaju važnu ulogu u zaštiti ćelije (Kuthan i sar., 1986), najviše su proučeni superoksid-dismutaze (SOD; EC 1.15.1.1), katalaza (CAT; EC 1.11.1.6), peroksidaze (Px; EC 1.11.1.7), askorbat-peroksidaza (APx; EC 1.11.1.11) i glutation-reduktaza (GR; EC 1.6.4.2) (Slika 14.).



Slika 14. Enzimski antioksidanti (Predin, 2014).

Superoksid-dismutaza (SOD; EC 1.15.1.1) je zajednički naziv za grupu metaloenzima koji uklanjaju superoksid anjon radikal, katalizujući reakciju dismutacije superoksid anjon radikala (O_2^-) do vodonik-peroksida i molekula kiseonika:



Svi SOD enzimi su metaloproteini koji u aktivnom centru sadrže metalne jone. U zavisnosti od prisutnog metalnog jona dele se na:

- bakar-cink-zavisnu SOD (Cu/Zn SOD), lokalizovanu u citosolu i hloroplastima;
- mangan-zavisnu SOD (MnSOD), lokalizovanu u mitohondrijama;
- gvožđe-zavisnu SOD (FeSOD), lokalizovanu u hloroplastima.

Katalaza (CAT; EC 1.11.1.6), je tetramerni hemoproteinski enzim, kod biljaka pretežno lokalizovan u peroksizomima, koji uklanja vodonik-peroksid katalizujući reakciju njegove razgradnje do vode i molekula kiseonika:



Peroksidaze (Px; EC 1.11.1.7) su enzimi koji uklanjaju vodonik-peroksid, katalizujući oksidaciju širokog spektra supstrata u prisustvu vodonik-peroksid-a:



Supstrati peroksidaza mogu biti prirodne supstance (fenolna jedinjenja) ili veštačke (gvajakol). Bitne su komponente sistema ranog odgovora biljke na napad patogena (Mandal i sar., 2008).

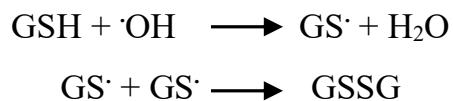
Aktivnost navedenih enzima je u bliskoj vezi sa uslovima sredine u kojima se biljka nalazi i predstavlja odgovor biljke na stres (Sunmonu i Van Staden, 2014). Iz tih razloga promena aktivnosti ovih enzima se koristi za detektovanje oksidativnog stresa u biljci (Cao i sar., 2011).

3.3.2. Neenzimski antioksidanti

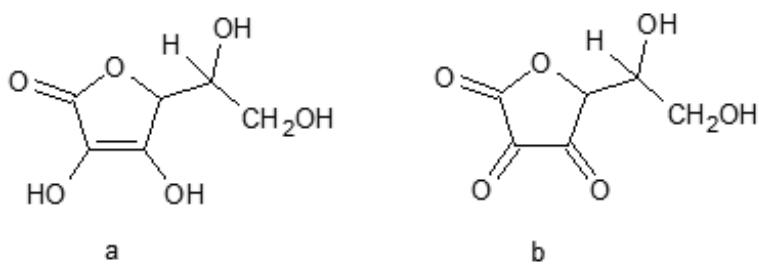
Detoksifikacija enzimima je moguća ukoliko je konstanta brzine reakcije kiseonične vrste veoma niska. Hidroksil-radikal je veoma reaktiv i reakcije u kojima učestvuje su prebrze da bi se on blagovremeno uklonio enzimima. Za uklanjanje hidroksil-radikala služe biomolekuli koji deluju kao hvatači slobodnih radikala ili koji sprečavaju njegovo formiranje uklanjanjem superoksid anjon radikala i vodonik-peroksida iz bioloških sistema (Inzé i Van Montagu, 1995; Štajner i sar., 1998).

U neenzimske antioksidante se ubrajaju: sulfhidrilna jedinjenja poput glutationa (GSH), vitamini C i E, karotenoidi, flavonoidi i drugi sekundarni biomolekuli (Davey i sar., 2000; Krishnaiah i sar., 2011).

Glutation je tripeptid (γ -L-glutamil-L-cisteinil-glicin) široko zastupljen kod većine biljnih vrsta. Može da kompleksira toksične jone teških metala i da ih skladišti u vakuoli ili da uklanja reaktivne vrste kiseonika, pri čemu se prevodi u oksidovanu formu, glutation-disulfid (GSSG). Reaguje brzo sa hidroksil-radikalima dajući manje reaktivne GS[·] radikale (Popović i Štajner, 2008; Carocho i Ferreira, 2013):

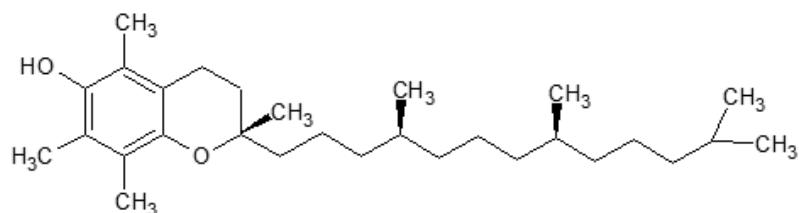


Vitamin C (L-askorbinska kiselina) je najvažniji hidrofilni antioksidant biljaka. Sa kiseoničnim radikalima reaguje brzo, pri čemu nastaje slabo reaktivan semidehidroaskorbat-radikal. Krajnji proizvod oksidacije vitamina C je dehidroaskorbinska kiselina (Slika 15.). Međutim, iako u fiziološkim uslovima preovladava njegovo antioksidativno delovanje, u prisustvu jona prelaznih metala može da deluje i prooksidativno (Popović i Štajner, 2008).



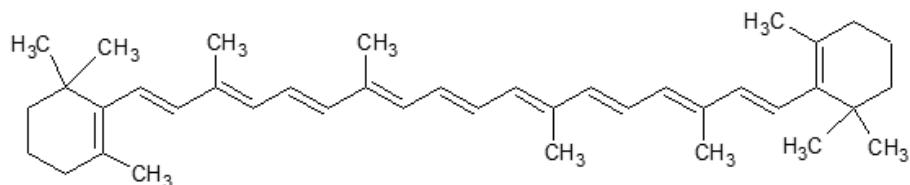
Slika 15. Struktura L-askorbinske kiseline (a) i dehidro- L-askorbinske kiseline (b).

Vitamin E je lipofilni antioksidant, prisutan u ćelijskim membranama. Od svih izomera vitamina E, α -tokoferol je biološki najaktivniji (Slika 16.). Antioksidativno delovanje ostvaruje redukcijom peroksil-radikala, prekidajući lančanu reakciju u procesu lipidne peroksidacije (Marnett, 1999).



Slika 16. Struktura α -tokoferola.

Karotenoidi predstavljaju grupu pigmenata koje sintetišu biljke i mikroorganizmi. Po hemijskoj strukturi podeljeni su u dve grupe: karotene (polinezasićeni ugljovodonici: likopen i β - karoten) i ksantofile (kiseonični derivati: lutein i zeaksantin). Deluju kao hvatači singlet-kiseonika i slobodnih radikala sprečavajući na taj način inicijaciju lipidne peroksidacije (Carocho i Ferreira, 2013).



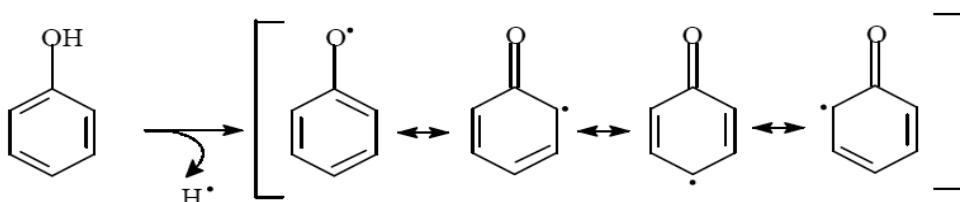
Slika 17. Struktura β -karotena.

3.3.3. Fenolna jedinjenja kao prirodni antioksidanti

Biljke, poznate po lekovitim svojstvima od najranijih vremena ljudske civilizacije, poslednjih decenija su doatile posebno mesto u istraživanjima antioksidativnih supstanci sa visokim antiradikalnim potencijalom (Veličković, 2013). Utvrđeno je da veliki broj fitohemikalija pokazuje antioksidativno delovanje, među kojima fenolna jedinjenja privlače najveću pažnju. Antioksidativna aktivnost fenolnih jedinjenja rezultat je njihove sposobnosti da budu donori vodonikovog atoma, nakon čega nastaju manje reaktivni fenoksil-radikali (Huda-Faujan i sar., 2009):



Relativno velika stabilnost fenoksil-radikala objašnjava se delokalizacijom elektrona, odnosno postojanjem više rezonantnih formi (Slika 18.).

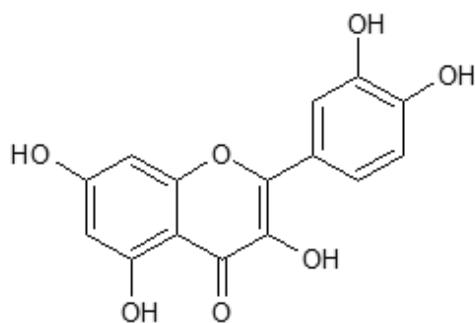


Slika 18. Rezonantna stabilizacija fenoksil-radikala.

Flavonoidi i fenolne komponente mogu da deluju kao snažni antioksidanti (Sakihama i sar., 2002; Janićijević-Hudomal i sar., 2008). U biljkama deluju kao hvatači slobodnih radikala i pretvaraju ih u manje reaktivne vrste (Agrawal, 2011; Ghasemzadeh i Ghasemzadeh, 2011) ili vezuju jone metala, sprečavajući produkciju slobodnih radikala (Kumar i Pandey, 2013). Uklanjajući superoksid anjon radikal i hidroksil-radikal, sprečavaju inicijaciju lipidne peroksidacije (Sandhar i sar., 2011).

Prisustvo hidroksilovanog prstena u molekulima flavonoida omogućava im da hvataju slobodne hidroksil- i peroksil-radikale: 3',4'-hidroksilne grupe u prstenu B deluju kao donori vodonikovog atoma pri uklanjanju slobodnih radikala, dok 2,3-dvostruka veza u konjugaciji sa C-4 karbonilnom funkcijom potpomaže delokalizaciju elektrona B prstena (Sandhar i sar., 2011). Predavanjem vodonikovog atoma kiseoničnim radikalima postiže se stabilizacija ovih radikala, pri čemu flavonoidi formiraju manje reaktivne radikale (Nijveldt i sar., 2001).

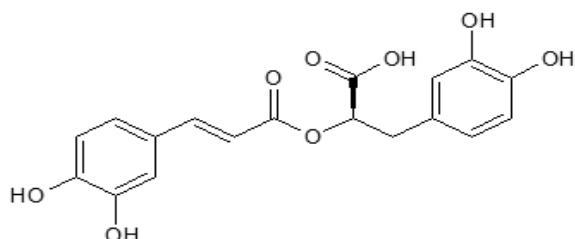
Antioksidantni potencijal flavonoida je povezan sa prisustvom i rasporedom funkcionalnih grupa u molekulu (Kumar i Pandey, 2013). Odsustvo 3'-hidroksilne grupe smanjuje antioksidativnu moć flavonoida (Sandhar i sar., 2011), kao i glikozilacija ove funkcije (Pietta, 2000). Tako, flavonoidi koji za B prsten imaju vazane dve hidroksilne grupe pokazuju veću antioksidativnu aktivnost (Kumar i Pandey, 2013). Među flavonoidima najveću aktivnost ispoljavaju flavoni i katehini (Nijveldt i sar., 2001). Studije su pokazale da derivati kvercetina deluju kao snažni antioksidanti. Dokazano je da su rutin i apigenin veoma efikasni u sprečavajnju lipidne peroksidacije i oksidacije β-karotena. Lipidnu peroksidaciju sprečavaju i vodenii ekstrakti listova pasiflore, koji sadrže kao aktivne komponente apigenin, luteolin i derivate luteolina (Braca i sar., 2002; Sharififar i sar., 2009; Kelly da Silva i sar., 2013).



Slika 19. Struktura kvercetina.

Fenolne kiseline – derivati hidroksicimetne kiseline (hidroksicinamati) i derivati hidroksibenzoeve kiseline (hidroksibenzoati) – deluju kao hvatači hidroksil-radikala, peroksil-radikala, superoksid anjon radikala i peroksinitrita (Carocho i Ferreira, 2013). Polifenoli su efikasniji antioksidanti od monofenola. Tako je galna kiselina sa tri hidroksilne grupe efikasniji antioksidant od protokatehinske i kafene kiseline, koje su jači antioksidanti od monofenolnih kiselina, *p*-hidroksibenzoeve i *p*-kumarinske kiseline. Prisustvo metoksi grupe u *ortho* položaju povećava antioksidativnu aktivnost monofenola, tako da je sinapinska kiselina aktivnija od ferulne, a ferulna je aktivnija od *p*-kumarinske. Generalno su derivati hidroksicimetne kiseline bolji antioksidanti od derivata hidroksibenzoeve kiseline zbog prisustva dvostrukе veze koja učestvuje u stabilizaciji nastalog aroksi-radikala (Veličković, 2013).

Veliki broj kumarina sposoban je za hvatanje reaktivnih kiseoničnih vrsta, što uključuje niz različitih molekularnih mehanizama delovanja i verovatno je povezano s njihovom strukturnom sličnošću s flavonoidima (Molnar i Čaćić, 2011). Među biljnim vrstama iz familije Lamiaceae, ruzmarin je najviše proučavan kao izvor prirodnih antioksidanata (Babović i Petrović, 2011). Ruzmarinska kiselina, estar kafene i 3,4-dihidroksifenilmlečne kiseline (Slika 20.), pokazuje antiinflamatornu, antioksidativnu, antimutagenu i antibakterijsku aktivnost. Zahvaljujući antioksidativnoj aktivnosti ruzmarinske kiseline, ruzmarin i njegovi ekstrakti nalaze primenu u fitofarmaciji kao sastavni delovi preparata za lečenje bolesti nastalih pod uticajem slobodnih radikala, kao i u prehrambenoj industriji za sprečavanje oksidativne razgradnje masti i ulja biljnog i životinjskog porekla (Stoiljković i sar., 2004).



Slika 20. Struktura ruzmarinske kiseline.

Neutrališući slobodne radikale u ćelijama, fenolna jedinjenja kao snažni antioksidanti sprečavaju oksidativna oštećenja lanaca DNK. Antikancerogenom, antiviralnom i antitoksičnom ulogom utiču na imuni i inflamatorni odgovor čoveka. Iz tih razloga se biljke, koje sadrže različita fenolna jedinjenja, koriste kao pomoćna lekovita sredstva u medicini (Popović i Malenčić, 2006). Pored toga što deluju kao snažni antioksidanti, fenoli su jedinjenja od velike važnosti za biljku i kao ćelijski potporni materijal poput lignina i suberina, koji čine mehaničku potporu i barijeru invaziji mikroba (Häkkinen, 2000; Popović, 2001). Neki od njih mogu da budu i ko-pigmenti, u čemu su najznačajniji antocijani, koji se obično nalaze u obliku glikozida ili estara sa taninima (Popović, 2001; Popović i Malenčić, 2006). Najrasprostranjeniji su pigmenti u biljnom svetu posle hlorofila. Mogu da imaju boju u rasponu od crvene do plave. Doprinose boji cveća, voća i listova, što je veoma važno u privlačenju insekata (Häkkinen, 2000). Na boju antocijana utiču mnogi činioci kao što su pH sredine i prisustvo drugih fenola (fenolnih kiselina, flavonoida, tanina...) (Stanković i sar., 2006).

Flavonoidi, koji se nalaze na površini listova, imaju ulogu u fiziološkom preživljavanju biljaka štiteći ih od gljivičnih infekcija i UV zračenja (Sandhar i sar., 2011). Najvažnija uloga fenolnih jedinjenja je u zaštiti biljke od napada patogena i predadora. Jednostavne fenolne kiseline, kao i kompleksi tanina i fenolnih smola na površini biljke, uspešno odbijaju ptice. Kondenzovani tanini daju gorak ukus biljnim tkivima, delujući odbijajuće na herbivore.

Stresni uslovi, kao što su UV zračenje, povreda i infekcija biljke, indukuju povećanje sinteze i akumulaciju fenolnih komponenti (Sakihama i sar., 2002; Asami i sar., 2003). Tako spoljašnji faktori mogu imati značajan uticaj na sadržaj fenolnih kiselina i flavonoida u biljkama (Häkkinen, 2000; Michalak, 2006).

Niskomolekularna jedinjenja (uključujući fenole) koja se mogu akumulirati kao posledica napada mikroorganizama nazivaju se fitoaleksinima. Fitoaleksini su post-infektivna jedinjenja, tj. mogu biti prisutni u biljci u niskim koncentracijama i bez infekcije, međutim nakon infekcije rapidno se nakupljaju

kao indukovana jedinjenja (Stanković i sar., 2006), štiteći biljku od širenja infekcije i novih napada (Mandal i sar., 2010). Od fenolnih fitoaleksina i toksina, hidroksikumarini i hidroksicinamati su od najveće važnosti (Popović i Malenčić, 2006).

Mnogi sekundarni metaboliti funkcionišu kao alelojedinjenja i služe kao zaštitne hemijske komponente protiv biljojeda i mikroorganizama (Stanković i sar., 2006). Pored isparljivih terpena, i toksični, u vodi rastvorljivi fenoli, kao što su jednostavni fenoli (hidroksibenzoati i hidroksicinamati), mogu da deluju kao alelopatske supstance i da imaju uticaj u komunikaciji među biljkama (Häkkinen, 2000).

4. Alelopatija

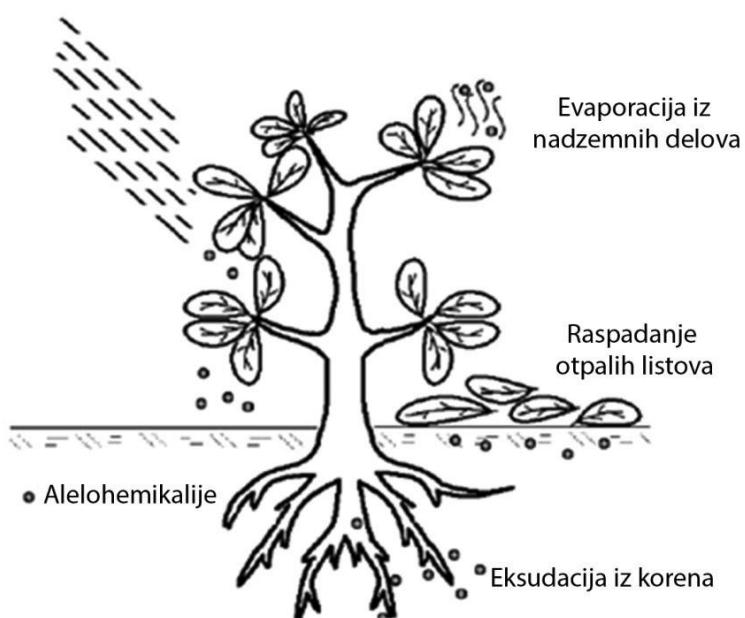
Termin alelopatija (izveden od dve grčke reči lat. *allelon* – „jedni na druge“ i lat. *pathos* – „patiti, senzitivnost“) prvi je upotrebio austrijski botaničar Hans Molisch (1937) za označavanje inhibitornog uticaja jedne biljke na rast i razvoj druge biljke u neposrednom okruženju (An i sar., 2003; Bhadoria, 2011). E.L. Rice 1984. godine proširuje definiciju i definiše alelopatiju kao direktni ili indirektni, pozitivan ili negativan uticaj jedne biljke putem hemijskih izlučevina na drugu biljku (Bogatek i sar., 2006; Blanco, 2007; Safari i sar., 2010). Iako se termin alelopatija najčešće upotrebljava za opisivanje hemijskih interakcija između dve biljke (alelopatija u užem smislu), može da se upotrebi i za opisivanje hemijske komunikacije između biljaka i mikroorganizama, biljaka i insekata, biljaka i herbivora (alelopatija u širem smislu) (Weir i sar., 2004).

4.1. Interakcija biljka-biljka

Biljke sintetišu veliki broj sekundarnih biomolekula koji su prisutni u gotovo svim organima (listu, cvetu, plodu, stabljici, korenju, semenu) (Putnam, 1988). Sintetisane biomolekule biljke emituju u spoljašnju sredinu preko eksudata iz korena, evaporacijom iz nadzemnih delova ili raspadanjem otpalih, izumrlih delova, pa preko njih deluju na klijanje, rast i razvoj biljaka u okruženju, tako što utiču na njihovu fotosintezu, respiraciju, balans vode i hormona, aktivnost enzima, kao i na strukturu i permeabilnost ćelijske membrane (Slika 21.) (Wu i sar., 2000; An i sar., 2003; Gatti i sar., 2010). Najčešće vidljive promene koje se javljaju kao posledica aleopatskih interakcija su inhibicija ili retardacija klijanja semena, inhibicija rasta korenovog sistema,

pucanje korenčića, nedostatak korenskih dlačica, izduživanje koleoptila i dr. (Bhadoria, 2011; Gella i sar., 2013).

Alelohemikalije su supstance putem kojih se ostvaruju alelopatske interakcije (Bhadoria, 2011), tj. imaju važnu ulogu u hemijskim interakcijama između biljaka i patogena (Wójcicka, 2010). To su sekundarni ili, ređe, primarni proizvodi metabolizma biljaka (Chou, 2006; Liu i sar., 2013), sintetisani u acetogeninskom, šikimatnom ili izoprenoidnom putu, koji nemaju veliku ulogu u primarnom metabolizmu važnom za preživljavanje samih vrsta (Kovačević i Momirović, 2000).



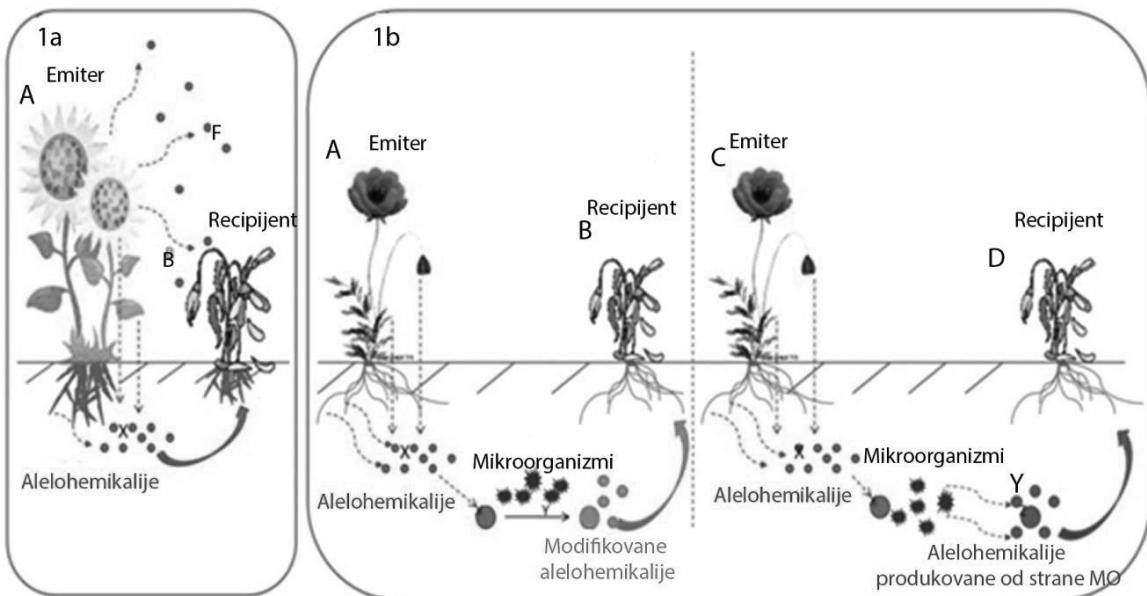
Slika 21. Mogući načini oslobađanja alelohemikalija u spoljašnju sredinu (De Albuquerque i sar., 2011; Šućur, 2015).

Alelohemikalije se mogu svrstati u 10 kategorija, kao što je prikazano u Tabeli 3. (Li i sar., 2010; Soltys i sar., 2013).

Tabela 3. Kategorije alelohemikalija (Li i sar., 2010; Soltys i sar., 2013).

-
1. Organske kiseline rastvorljive u vodi, nerazgranati alkoholi, alifatični aldehidi i ketoni
 2. Prosti laktoni
 3. Masne kiseline dugog niza i poliacetileni
 4. Benzohinoni, antrahinoni i kompleksni hinoni
 5. Fenoli
 6. Cimetna kiselina i njeni derivati
 7. Kumarini
 8. Flavonoidi
 9. Tanini
 10. Steroidi i terpenoidi (seskviterpenski laktoni, diterpeni i triterpeni)
-

Biljka koja izlučuje alelohemikalije u okolinu označava se kao biljka-emiter, dok se biljka na koju deluju izlučene alelohemikalije označava kao biljka-recipijent (Soltys i sar., 2013). Veći broj alelohemikalija biljka-emiter izlučuje u aktivnom obliku, dok se pojedine druge aktiviraju delovanjem mikroorganizama ili pri specifičnim ekološkim uslovima (pH, temperatura, svjetlost) (Inderjit i sar., 2011; Li i sar., 2013). Mikroorganizmi preuzimaju alelohemikalije iz zemljišta, transformišu ih i na taj način smanjuju ili povećavaju njihovu toksičnost (De Albuquerque i sar., 2011). Osim toga, izlučene alelohemikalije mogu da stimulišu mikroorganizme da produkuju neke druge alelohemikalije koje će delovati na okolne biljke (Slika 22.). Međusobni odnosi među biljkama, kao i odnosi između biljke i spoljašnje sredine, utiču na alelopatsku komunikaciju, menjajući alelopatski potencijal izlučenih supstanci (Inderjit i sar., 2011). Alelopatski uticaj je izraženiji ukoliko zajednički deluje više komponenti u poređenju sa istom koncentracijom alelopatskih supstanci koje deluju pojedinačno tj. deluju sinergistički (Sikora i Berenji, 2008).

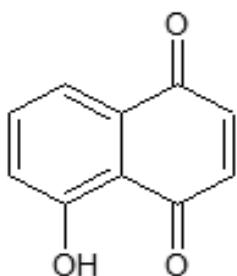


Slika 22. Alelopatske interakcije (Soltys i sar., 2013; Šućur, 2015) – (1a) Biljka A oslobađa alelohemikalije X i F koje utiču na rast biljke B; (1b-leva strana) Biljka A oslobađa alelohemikalije koje dalje modifikuju ili aktiviraju mikroorganizmi u alelohemikalije Y, koje utiču na rast biljke B; (1b-desna strana) Biljka A oslobađa alelohemikalije X koje stimulišu mikroorganizme da produkuju alelohemikalije Z, koje utiču na rast biljke B.

Pored uticaja na mikroorganizme koji se nalaze u okolini biljke koja ih izlučuje (Weiβhuhn i Prati, 2009), alelohemikalije utiču indirektno i na životinje koje se hrane biljkama, zatim na dekompoziciju organskih materija u zemljištu, kao i na kruženje azota u prirodi (Inderjit i sar., 2011).

Alelopatski odnosi koji su široko rasprostranjeni u biljnom svetu, manifestuju se preko različitih biohemijskih mehanizama, uz učešće različitih fiziološki aktivnih jedinjenja, s različitom brzinom delovanja i različitim posledicama (Vrbničanin i Kojić, 2000). Veliki broj alelopatskih interakcija je negativnog karaktera, dok su pozitivni odnosi retkost (Soltys i sar., 2013).

Od davnina se zna da oko pojedinih biljnih vrsta ne rastu druge zeljaste biljke. Poznata je toksičnost juglona (5-hidroksinaftohinon) iz oraha (*Juglans regia* L.) za mnoge biljke i insekte (Ercisli i sar., 2005). Niz vrsta zeljastih biljaka, osetljivih na toksičnost juglona, ne može da raste u neposrednoj blizini oraha. Ista pojava se zapaža na zemljištu u blizini žbunova žalfije (*Salvia leucophyta* Greene (Lamiaceae)) i pelina (*Artemisia californica* Less. (Asteraceae)). Ovaj efekat se pripisuje dejstvu etarskog ulja koje sadrži monoterpene kamfor i 1,8-cineol, poznate inhibitore klijanja i rasta klijanaca različitih vrsta zeljastih biljaka.



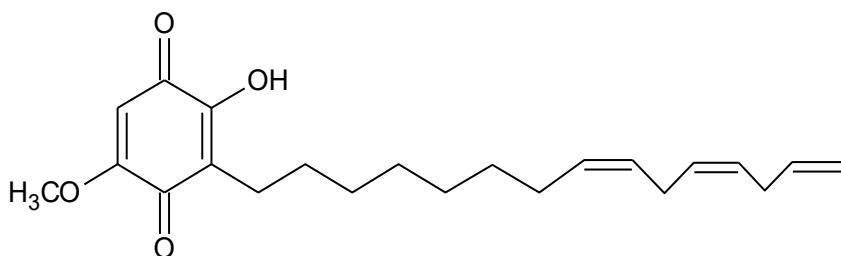
Slika 23. Struktura juglona.

Slična pojava je zapažena i u neposrednoj blizini eukaliptusa (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. (Myrtaceae)). Pretpostavlja se da komponente etarskog ulja: α - i β -pinen, α -felandren i 1,8-cineol inhibiraju klijanje korenka (*Bromus rigidus* Roth (Poaceae)) (Jančić i sar., 1995). Kao inhibitori klijanja navode se i borneol, (+) kamfor i pulegon.

U žitaricama, kao što su kukuruz (*Zea mays* L.), pšenica (*Triticum aestivum* L.), raž (*Secale cereale* L.), ječam (*Hordeum vulgare* L.), pirinač (*Oryza sativa* L.) i sirak (*Sorghum bicolor* L.), identifikovano je prisustvo supstanci sa alelopatskim delovanjem uključujući fenolne kiseline, flavonoide, kumarine i alkaloide. Međutim, kakve će se posledice javiti u biljci (intenzitet alelopatije) koja je bila izložena uticaju alelohemikalija zavisi od strukture prisutnih jedinjenja, primenjene doze, kao i od biotičkih i abiotičkih faktora (Bravo i sar., 2013).

Alelohemikalije sprečavaju klijanje semena tako što utiču na aktivnost metaboličkih enzima uključenih u procese glikolize i pentozo-fosfatnog puta. Utvrđeno je da neke fenolne kiseline (vanilinska, *p*-kumarinska, *p*-hidroksibenzoeva i protokatehinska kiselina) inhibiraju aktivnost glikolitičkih enzima (aldolaza, glukozafosfat-izomeraza), iako tačan mehanizam inhibicije nije poznat (Weir i sar., 2004).

Najviše proučavan mehanizam fitotoksičnog delovanja alelohemikalija je inhibicija fotosinteze, koja se javlja kao posledica interakcije alelohemikalija sa komponentama fotosistema II. Jedan od inhibitora fotosistema II je sorgoleon, iz sirka (*Sorghum bicolor* L.), koji je po strukturi benzohinon (Slika 24.). U zemljište dospeva eksudacijom preko korena, gde se vezuje za atrazin-vezno mesto u fotosistemu II, sprečavajući redukciju plastohinona, što za posledicu ima inhibiciju elektron-transportnog lanca (Weir i sar., 2004).



Slika 24. Struktura sorgoleona.

Jedan od alelohemičkih efekata koji dovodi do ćelijske smrti jeste i povećana producija i akumulacija reaktivnih kiseoničnih vrsta koje dovode do oksidativnog stresa u ciljnoj ćeliji (De Albuquerque i sar., 2011). Oksidativni stres izazvan alelohemikalijama dovodi do povećanja intenziteta lipidne peroksidacije ćelijskih membrana, čime se narušava integritet membrana i aktivan transport kroz njih, kao i do povećanja aktivnosti antioksidativnih enzima (Bogatek i Gniazdowska, 2007; Ding i sar., 2007; Li i sar., 2013). Alelohemikalije rastvorene u vodi tada u većoj meri ulaze u koren, te dolazi do gubitka elektrolita iz oštećenih delova korenovog sistema (Dmitrović, 2012). Upravo se toksičnost hinona i fenola objašnjava formiranjem semihinon-

radikala, donora elektrona molekulu kiseonika, koji na taj način prelazi u superoksid anjon radikal (Weir i sar., 2004).

U poljoprivrednim sistemima interakcije između gajenih biljnih vrsta, kao i interakcije između useva i korova, mogu da dovedu do smanjene produktivnosti (Dmitrović, 2012). Iz ovih činjenica je proizašla ideja o primeni alelopatije kao perspektivne strategije za kontrolu korova, a u cilju smanjenja upotrebe sintetičkih herbicida i drugih pesticida koji zagađuju životnu sredinu (Akbarzadeh i sar., 2013).

Najveći broj istraživanja u oblasti praktične primene alelopatije je do sada bio fokusiran na probleme suzbijanja korova na pirinčanim poljima, zbog specifičnog načina gajenja ove ratarske kulture (Janjić i sar., 2008). Identifikovane potencijalne alelohemikalije u ekstraktima i eksudatima pirinča pripadaju različitim klasama jedinjenja. U vodenim ekstraktima su identifikovane fenolne kiseline: *p*-hidroksibenzoeva, vanilinska, *p*-kumarinska i ferulna kiselina. Međutim, iako se smatra da fenolne kiseline, u poređenju sa ostalim klasama jedinjenja, imaju vodeću ulogu u alelopatiji, utvrđeno je da je diterpenoid momilakton B u pirinču najznačajnije jedinjenje koje alelopatski deluje na korove (Roth i sar., 2000; Kato-Noguchi i Ino, 2003; Kato-Noguchi, 2004; Kato-Noguchi i Ino, 2005; Kato-Noguchi i Ino, 2005).

Primeri prirodnih bioherbicida su vodeni ekstrakti sirka (*Sorghum bicolor* L.) i suncokreta (*Helianthus annuus* L.) koji su se pokazali kao veoma efikasna zaštita gajenih biljaka od korova, bez gubitaka u prinosu (Soltys i sar., 2013). Utvrđeno je da fitotoksični efekat sirka potiče od sorgoleona koji se oslobađa eksudacijom korena i ispoljava toksičnost pri koncentracijama manjim od 10 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ (Dayan, 2006; Uddin i sar., 2013). U Tabeli 4. navedene su biljke i njihove aktivne supstance koje deluju inhibitorno na klijanje semena i rast korova.

Tabela 4. Alelopatske supstance izolovane iz biljaka koje deluju inhibitorno na klijanje semena i rast korova (Soltys i sar., 2013).

Alelopatska supstanca	Biljka iz koje je izolovana	Korov na koji deluje
Izotiocjanati	Rotkvica	<i>Sonchus asper</i> L. Hill <i>Matricaria inodora</i> L. <i>Amaranthus hybridus</i> L. <i>Convolvulus arvensis</i> L. <i>Daucus carota</i> L. <i>Hirschfeldia incana</i> L.
Sorgoleon	Sirak	<i>Phalaris minor</i> Retz. <i>Coronopus didymus</i> L. <i>Cyperus rotundus</i> L. <i>Solanum nigrum</i> L. <i>Amaranthus retroflexus</i> L. <i>Ambrosia artemisiiflora</i> L.
Momilakton	Pirinač, mahovina	<i>Echinochloa colonum</i> L. <i>Amaranthus lividus</i> L. <i>Digitaria sanguinalis</i> L. <i>Poa annua</i> L.
Artemisinin	Pelin	<i>Ipomoea lacunose</i> L. <i>Portulaca oleracea</i> L. <i>Lemna minor</i> L.
Sarmentin	Biber	<i>Leptochloa filiformis</i> (Lam) Beauv. <i>Taraxacum</i> sp. Wigg <i>Chenopodium album</i> L.
Egarska ulja	Eukaliptus	<i>Cassia occidentalis</i> (L.) Link <i>Lolium rigidum</i> Gaudin

Prednost upotrebe alelohemikalija kao prirodnih pesticida su (Soltys i sar., 2013):

- Većina alelohemikalija je rastvorljiva u vodi što omogućava njihovu primenu bez dodatnih reagenasa za razliku od sintetičkih herbicida, koji se slabo rastvaraju u vodi i zemljištu i imaju sposobnost akumulacije u organizmima biljaka i životinja.
- Biorazgradivi su, sadrže relativno mali broj takozvanih „teških atoma“, karakteriše ih odsustvo „neprirodnih“ prstenova što ih čini ekološki boljom opcijom od sintetičkih herbicida. Ove odlike sprečavaju nagomilavanje štetnih jedinjenja u zemljištu i negativan uticaj na druge biljke.
- Raznovrsnost i prisustvo velikog broja jedinjenja omogućava im da deluju na korove koji su razvili rezistentnost na konvencionalne herbicide.
- Veliki broj izolovanih alelohemikalija ispoljava svoju biološku aktivnost u niskim (10^{-5} – 10^{-6} mol/dm³) ili izuzetno niskim koncentracijama (10^{-10} mol/dm³) (Gniazdowska i Bogatek, 2005).

Nedostaci upotrebe alelohemikalija kao prirodnih pesticida su (Soltys i sar., 2013):

- Složenost strukture ih čini reaktivnijim i nestabilnim, tako da brza transformacija jedne od funkcionalnih grupa može značajno da smanji biopesticidnu aktivnost celog jedinjenja.
- Neselektivne su i manje specifične od sintetičkih herbicida.
- Nemogućnost komercijalizacije proizvoda usled otežanog postupka dobijanja proizvoda ujednačenog kvaliteta, iz razloga što sastav i koncentracija sekundarnih biomolekula biljaka zavise od uslova u kojima samonikle biljke rastu, tj. od čitavog niza faktora životne sredine.
- Monokotiledone biljke (kojima pripada većina ratarskih kultura) su otpornije na alelohemikalije nego dikotiledone biljke, stoga je moguće korišćenje alelojedinjenja kao potencijalnih herbicida, ali je upotreba ograničena na

tretiranje određenih useva sa definisanim sastavom korova (Gniazdowska i Bogeč, 2005).

Da bi alelohemikalije mogle da se upotrebljavaju kao prirodni herbicidi, moraju da budu:

- dovoljno efikasne,
- bezbedne po životnu sredinu.

Iz tih razloga, neophodno je da imaju:

- fitotoksičnu aktivnost prema korovskim vrstama u niskim koncentracijama,
- identifikovanu hemijsku strukturu,
- poznat način delovanja u biljkama i vreme zadržavanja u zemljištu,
- poznat uticaj na mikroorganizme,
- ispitana ekotoksikološka svojstva,
- ispitana toksičnost za ljude i sisare.

Primenom prirodnih herbicida, biljnog porekla, štiti se i čuva plodnost i mikrobiološka aktivnost poljoprivrednog zemljišta. Intenzivna, često i prekomerna, primena pesticida dovila je do ozbiljnih poremećaja u životnoj sredini. Pod pesticidima podrazumeva se širok spektar hemijskih materija koji poseduju različitu biološku aktivnost, a koje se upotrebljavaju za zaštitu biljaka od raznih štetnih organizama. Agrohemikalije se klasificuju prema biološkim osobinama i prema vrsti organizama na koji deluju, a poznate su kao herbicidi, insekticidi, fungicidi, akaricidi, baktericidi, nematocidi, repelenti (odbijaju insekte), feromoni (remete normalno ponašanje insekata i dr.). Zbog velike potrebe za upotrebom pesticida nastoji se da se pronađu alternativni putevi za zaštitu biljnih kultura koji su manje opasni za ekosisteme (Čeković, 2006).

Alelohemikalije mogu direktno uticati na veći broj fizioloških i biohemijskih procesa, a samim tim i na rast i razviće biljnih organa (Weir i sar., 2004; Safari i sar., 2010). Alelopatski efekti biljaka familije Lamiaceae su ispitivani u većem broju studija. Safari i sar. (2010) su ustanovili da vodeni ekstrakti biljke *Thymus kotschyanus* (Lamiaceae) ispoljavaju dozno-zavisne alelopatske efekte na klijanje semena i rast klijanaca *Bromus tomentellus*. Takođe, Bajalan i sar. (2013) su ispitivali dejstvo različitih koncentracija vodenog ekstrakta žalfije (*Salvia officinalis* (Lamiaceae)) na klijanje semena štira (*Amaranthus retroflexus*) i ustanovili da primenjeni ekstrakti pokazuju snažan inhibitorni efekat na klijavost semena. Ispitivanjem alelopatskog uticaja vodenog ekstrakta lavande (*Lavandula officinalis*), ustanovljeno je da pored toga što dovodi do inhibicije klijanja semena štira (*Amaranthus retroflexus*), postoji i inhibitorni efekat na dužinu korena i masu suvog biljnog materijala (Akbarzadeh i sar., 2013).

Primena alelohemikalija kod tretiranih biljaka izaziva nekontrolisanu produkciju i akumulaciju reaktivnih kiseoničnih vrsta (ROS) (Inze i Van Montagu, 1995; Weir i sar., 2004; Gniazdowska i Bogatek, 2005), aktivirajući ćelijske antioksidacione sisteme koji imaju funkciju da ublaže oksidativni stres (Hammond-Kosack i Jones, 1996; Gniazdowska i Bogatek, 2005; De Albuquerque i sar., 2011). Povećana produkcija reaktivnih vrsta kiseonika može da dovede do povećane aktivnosti enzima antioksidativnog odgovora poput superoksid-dismutaze (SOD), gvajakol-peroksidaze (GPx) i dr. (Mandal i sar., 2013), koji imaju važnu ulogu u zaštiti ćelije (Kuthan i sar., 1986). Sa druge strane, prekomerna akumulacija vodonik-peroksida može da dovede i do inhibicije enzimske aktivnosti, pri čemu biljka ostaje nezaštićena tj. podložna oksidativnom stresu prouzrokovanim slobodnim radikalima (Mandal i sar., 2013). Sunmonu i Van Staden (2014) su utvrdili da vodeni ekstrakti biljaka *Vachellia sieberiana*, *Albizia adianthifolia* i *Rapanea melanophloeos* u početku dovode do povećanja superoksidazne, katalazne i peroksidazne aktivnosti u

sadnicama salate. Međutim, duže izlaganje sadnica salate uticaju navedenih ekstrakata dovodi do dozno zavisne inhibicije enzimske aktivnosti.

S obzirom na to da je odgovor biljke na abiotički stres u bliskoj vezi sa promenom enzimske aktivnosti u njenim tkivima i organima (Sunmonu and Van Staden, 2014), promena aktivnosti enzima i intenzitet lipidne peroksidacije su glavni markeri oksidativnog stresa (Taulavuori, 2001; Cao i sar., 2011). Oracz i sar. (2007) su ustanovili da ekstrakt lista suncokreta (*Helianthus annuus*) dovodi do značajnog povećanja aktivnosti enzima antioksidativne zaštite kod slaćice (*Sinapis alba*). Istraživanja Bogateka i sar. (2006) su pokazala da ekstrakti suncokreta prouzrokuju oksidativni stres povećavajući koncentraciju vodonik-peroksida u tkivima slaćice, što prati povećan intenzitet lipidne peroksidacije. Ding i sar. (2007) su ustanovili da cimetna kiselina izaziva oksidativni stres, povećavajući koncentraciju superoksid anjon radikala i vodonik-peroksida u korenju krastavca, što dovodi do povećane aktivnosti enzima SOD, CAT i GPx.

Kafena kiselina stimuliše proces lipidne peroksidacije, indukujući oksidativni stres u biljkama. Tako je povećanje koncentracije MDA kao krajnjeg proizvoda lipidne peroksidacije i povećanje sadržaja vodonik-peroksida usled izlaganja uticaju kafene kiseline uočeno u korenju pasulja (Singh i sar., 2009) i kupusa (Singh i sar., 2013). I za druge fenolne komponente je pokazano da imaju negativan uticaj na rast i razvoj susednih biljaka. Smatra se da je za inhibitorni uticaj žitarica na rast nekih korovskih vrsta odgovorno prisustvo *p*-hidroksibenzoeve, vanilinske, *p*-kumarne, siringinske i ferulne kiseline (Wu i sar., 2000). Prema istraživanjima Stupnicka-Rodzynkiewicz i sar. (2006) najjači inhibitorni efekat na korovsku vrstu koniku (*Galinsoga parviflora*) pokazale su *p*-hidroksibenzoeva, protokatehinska i vanilinska kiselina od osam ispitanih fenolnih jedinjenja (hlorogenska, ferulna, *p*-hidroksibenzoeva, *p*-kumarna, protokatehinska, salicilna, *trans*-cimetna i vanilinska kiselina).

4.2. Uloga etarskih ulja u interakciji biljka-insekt

Eterska ulja imaju fiziološku funkciju (u metabolizmu biljaka), i ekološku funkciju (u biohemijskim interakcijama biljaka sa spoljašnjom sredinom). Ekološka uloga uslovljena je fizičko-hemijskim osobinama komponenti etarskog ulja, koje omogućavaju da one budu osnovni agensi biohemijске interakcije biljke sa spoljašnjom sredinom. U tom smislu moguće je razlikovati ulogu etarskih ulja u alelopatskim odnosima, u odnosu biljka-životinja i značaj etarskih ulja za čoveka (Kostić i sar., 2012).

Miris biljaka, koji je značajan faktor u privlačenju insekata-oprašivača, uglavnom potiče od isparljivih komponenti etarskih ulja. Neke od komponenti, odgovorne za privlačenje insekata, su citral, linalol, mircen i limonen. Pojedine komponente etarskih ulja mogu da deluju privlačno na jednu grupu insekata, a drugu da odbijaju. Prisustvo etarskih ulja u biljkama predstavlja jedan od brojnih razvijenih mehanizama odbrane biljaka od insekata i patogenih gljiva (Batish i sar., 2008). Eterska ulja imaju značajnu ulogu u redukciji broja herbivora i parazita, tako da su pored farmaceutske, prehrambene i kozmetičke industrije, našli primenu i u zaštiti ekosistema, ljudi, životinja i hrane (Vučinić i sar., 2011).

Poslednjih decenija etarska ulja dobijaju sve više na značaju u naučnim istraživanjima kao potencijalni fumiganti i kontaktni insekticidi (Batish i sar., 2008). Kao lako isparljiva jedinjenja, koja karakteriše niska toksičnost prema sisarima, predstavljaju dobru alternativu za zaštitu uskladištenih proizvoda. Fumigantnim delovanjem etarskih ulja postiže se suzbijanje rezličitih rezvojnih stadijuma insekata (Wang i sar., 2006). O značaju etarskih ulja kao faktora redukcije brojnosti štetnih insekata svedoči veliki broj istraživanja. Ustanovljeno je da karvakrol, sam ili u kombinaciji sa drugim aktivnim sastojcima etarskih ulja, deluje repelentno na mnoge insekte (npr. komarce, krpelje, bubašvabe) (Vučinić i sar., 2011). Karvakrol i njegov izomer timol su glavni mirisni i lekoviti (antiseptički, antihelmintični) sastojci majčine dušice, vranilovke i drugih biljaka iz familije usnatica (Tucakov, 1996). Ustanovljeno je da proizvodi

na bazi eukaliptusa pružaju osmočasovnu zaštitu od ujeda komaraca (Batisch i sar., 2008), tj. da etarsko ulje eukaliptusa, u kom je u većim količinama prisutan monoterpen 1,8-cineol, ispoljava repellentno dejstvo na komarce. Istraživanja Çalmaşur i sar. (2005) su pokazala da etarska ulja biljaka familije Lamiaceae (*Micromeria fruticosa*, *Nepeta racemosa* i *Origanum vulgare*) takođe pokazuju insekticidnu aktivnost. Aktivne komponente dominantne u ulju su γ -terpinen, α -terpinen, timol, karvakrol i linalol. Pored toga što deluju toksično i repellentno za mnoge insekte, veliki broj monoterpena ispoljava antimikrobnu, antibakterijsku i antifungalnu aktivnost (Popović i Malenčić, 2006). Biosinteza etarskih ulja predstavlja jedan od brojnih mehanizama odbrane biljaka od insekata. Novija istraživanja ukazuju da etarska ulja mogu biti korišćena kao alternative konvencionalnim insekticidima. Manje su toksični od sintetičkih insekticida. Poznato je da pojedini sekundarni biomolekuli mogu ispoljiti baktericidno i fungicidno dejstvo na mikroorganizme prisutne u životnoj sredini (Weiβhuhn i Prati, 2009).

Aromatične biljke familije Lamiaceae upotrebljavaju se kao lekovite, začinske i ukrasne biljke. U tradicionalnoj medicini imaju široku primenu zbog visokog sadržaja etarskog ulja koje ispoljava antimikrobnu, antiviralnu i antikancersku aktivnost (Bozin i sar., 2006). S obzirom da prirodni proizvodi predstavljaju ekološki prihvatljiviji način za suzbijanje štetočina od sintetičkih preparata, jer su biorazgradivi i najčešće manje toksični (Fakoorziba i sar., 2014), potrebno je prošititi ispitivanja biopesticidne aktivnosti i na ekstrakate samoniklih biljaka.

5. Alelopatski potencijal vodenih rastvora samoniklih biljaka

5.1. Biljni materijal

Biljni materijal korišćen za istraživanja sakupljen je u fazi cvetanja na području Republike Srbije i Republike Crne Gore. Pregledan je i kolektovan u Kolekciji primeraka jemstva (Voucher collection) Herbariuma BUNS na Departmanu za biologiju i ekologiju Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu. Osnovni podaci o brojevima vaučera i lokalitetu sakupljanja ispitivanih vrsta familije Lamiaceae prikazani su u Tabeli 5.

Tabela 5. Podaci iz vaučera biljnih vrsta korišćenih u radu.

Broj vaučera	Vrsta	Lokalitet	lokacija
2-1543	<i>Clinopodium menthifolium</i> (Host) Stace 1989	Crna Gora Sutomore, Čanj N 42.09.52,19; E 19.00.30,10; 31 m	makija
2-1544	<i>Satureja montana</i> L. 1753 subsp. <i>Montana</i>	Crna Gora Podgorica, Bioče, Potoci N 42.32.23,21; E 19.20.02,17; 123 m	krečnjački kamenjar, pseudomakija
2-1545	<i>Salvia sclarea</i> L. 1753	Srbija Vranje, Rujan planina, selo Klenike N 42.22.40,44 E 21.53.09,23; 494 m	pored puta, termofilno hrastov šibljak

* Determinaciju je izvršio dr Goran Anačkov, vanredni profesor na Departmanu za biologiju i ekologiju Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu.

Za ispitivanje alelopatskog potencijala vodenih rastvora *S. montana*, *C. menthifolium* i *S. sclarea* korišćene su sadnice paprike (*Capsicum annuum* L.) sorte Anita, soje (*Glycine max* L.) sorte Viktorija i tri vrste korova: crna pomoćnica (*Solanum nigrum* L.), tatula (*Datura stramonium* L.) i klasaća (*Bromus mollis* L.).

5.2. Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA kod test-biljaka tretiranih vodenim rastvorom *Satureja montana L.*



Slika 25. *Satureja montana L.*
[\(<http://davesgarden.com/guides/pf/showimage/182473/>\)](http://davesgarden.com/guides/pf/showimage/182473/)

Satureja montana L., rtanjski čaj (planinski čubar ili vrijesak), je višegodišnja žbunasta biljka, sa snažnim vretenastim korenom. Grane su četvorouglaste do skoro okrugle, prekrivene svetlo mrkom korom (Diklić, 1974). Cvetovi su bele, ružičaste ili ljubičaste boje. Staništa ove vrste su u pojasu od obale mora pa do 1200 m nadmorske visine. Na primorskim planinama neretko se nalaze lokaliteti i na većim nadmorskim visinama (Mihajilov-Krstev i sar., 2014).

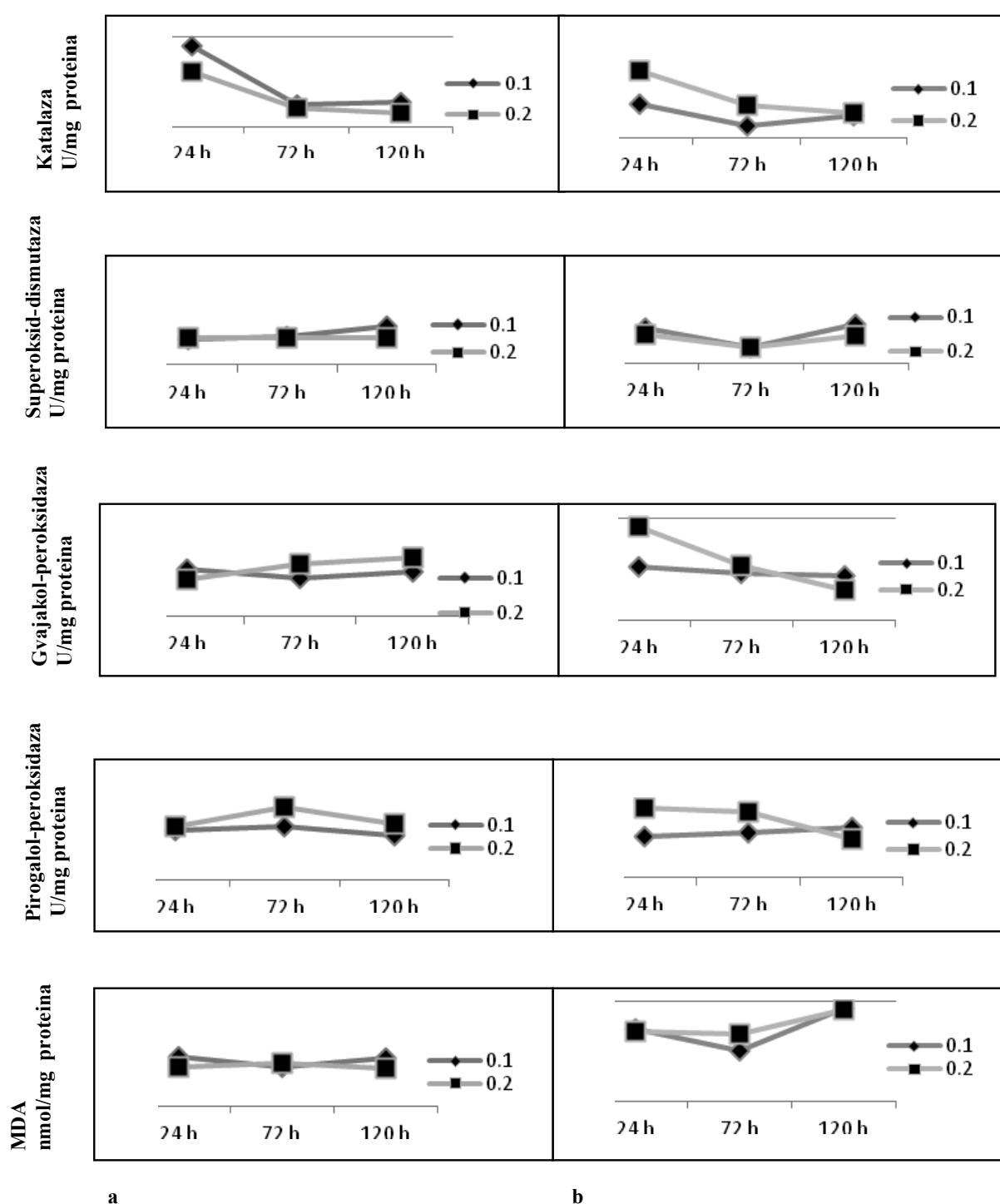
Cela biljka upotrebljava se kao antiseptik, aromatik i karminativ (Damjanović-Vratnica i sar., 2011). Pozitivni efekti na ljudsko zdravlje povezani su sa prisustvom etarskog ulja, koje je poznato kao prirodni antioksidant (Marin i sar., 2012), triterpena, flavonoida i ruzmarinske kiseline (Hassanein i sar., 2014).

U vodenom rastvoru biljke *S. montana*, korišćene u istraživanju, HPLC analizom utvrđeno je i kvantifikovano prisustvo sledećih jedinjenja: kafena kiselina (78,17 µg/g), galna kiselina (15,36 µg/g), katehin (3,13 µg/g), kvercetin (2,39 µg/g), *p*-kumarinska kiselina (1,59 µg/g), 5-*O*-kafeoilhinska kiselina (1,36 µg/g) i ferulna kiselina (0,50 µg/g) (Šućur, 2015; Šućur i sar., 2015 a). Kvantifikovana količina kafene kiseline, kao dominantne fenolne komponente,

je u skladu sa literaturnim podacima za biljku *S. montana* poreklom iz Portugalije (Gião i sar., 2009). U vodenom ekstraktu *S. montana* sa istog područja, utvrđeno je prisustvo rutina i ruzmarinske kiseline (Gião i sar., 2012).

Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu i korenju crne pomoćnice

Praćenjem aktivnosti antioksidativnih enzima u listu crne pomoćnice tretirane 0,1%-nim i 0,2%-nim vodenim rastvorom *S. montana* zapaženo je da su oba primenjena rastvora indukovala povećanu aktivnost enzima katalaze nakon 24-časovnog tretmana i enzima superoksid-dismutaze nakon svih perioda tretiranja. Voden rastvor *S. montana* primjenjen u višoj koncentraciji (0,2%) doveo je do povećane aktivnosti gvajakol-peroksidaze nakon 72-časovnog i 120-časovnog tretmana, dok je u tretmanu blažim rastvorom (0,1%) gvajakol-peroksidaza imala statistički značajno različitu aktivnost u listovima tretiranih biljaka crne pomoćnice u odnosu na aktivnost izmerenu u listovima kontrolne grupe biljaka nakon 24-časovnog tretmana. Porast aktivnosti pirogalol-peroksidaze zabeležen je nakon 72-časovnog tretmana 0,2%-nim vodenim rastvorom *S. montana* dok je u tretmanu 0,1%-nim vodenim rastvorom bila statistički značajno smanjena u odnosu na aktivnost izmerenu u kontrolnoj grupi biljaka crne pomoćnice nakon 120-časovnog tretmana. Poređenjem sadržaja malondialdehida u listovima biljaka crne pomoćnice tretiranih vodenim rastvorom *S. montana* sa sadržajem malondialdehida u listovima netretiranih biljaka, primećuje se veća akumulacija malondialdehida u listovima tretiranih biljaka. Najveća razlika u sadržaju malondialdehida zabeležena je u listu crne pomoćnice tretirane 0,1%-nim vodenim rastvorom *S. montana* nakon 120-časovnog tretmana, kada je zabeležena i inhibicija aktivnosti pirogalol-peroksidaze (Grafikon 1.) (Šućur, 2015; Šućur i sar., 2015 a).



Grafikon 1. Uticaj vodenog rastvora *S. montana* (0,1% i 0,2%) na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu (a) i korenu (b) crne pomoćnice (Šućur, 2015).

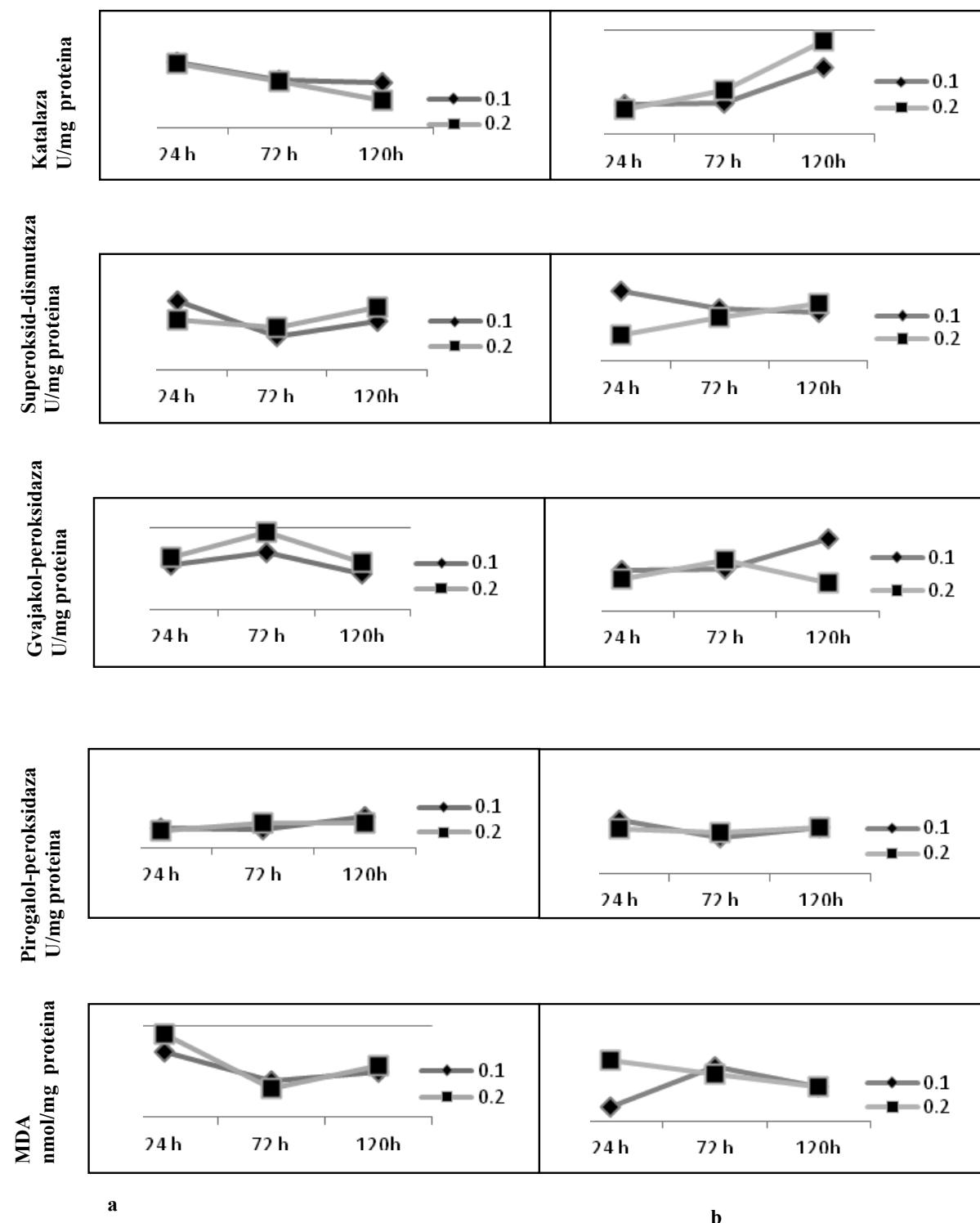
Primena 0,1%-nog i 0,2%-nog vodenog rastvora *S. montana* dovela je do indukcije aktivnosti superoksid-dismutaze u korenu crne pomoćnice nakon 24-časovnog tretmana. Najveći porast aktivnosti katalaze zabeležen je nakon 24-časovnog tretmana 0,2%-nim vodenim rastvorom *S. montana*. Nasuprot tome, inhibicija aktivnosti katalaze zabeležena je u tretmanu 0,1%-nim vodenim rastvorom nakon 72-časovnog tretmana. Inhibicija aktivnosti peroksidaza u korenu crne pomoćnice uočena je nakon 120-časovnog tretmana, s tim što je aktivnost pirogalol-peroksidaze statistički značajno smanjena samo nakon tretmana 0,2%-nim vodenim rastvorom. Najveća razlika u sadržaju malondialdehida u korenu tretiranih i netretiranih biljaka crne pomoćnice zabeležena je nakon 120-časovnog tretmana, kada je sadržaj malondialdehida u korenu tretiranih biljaka bio skoro dva puta veći u poređenju sa sadržajem malondialdehida u korenu netretiranih biljaka (Grafikon 1.) (Šućur, 2015; Šućur i sar., 2015 a).

Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu i korenu tatule

U listu tatule, tretman 0,1%-nim vodenim rastvorom *S. montana* nije doveo do statistički značajnih promena aktivnosti enzima katalaze, dok je u listu tatule izložene uticaju 0,2%-nog vodenog rastvora *S. montana*, došlo do inhibicije aktivnosti katalaze nakon 120-časovnog tretmana. Statistički značajno smanjenje aktivnosti superoksid-dismutaze zabeleženo je u listu tatule tretirane 0,1%-nim vodenim rastvorom nakon 72-časovnog tretmana. Aktivnosti enzima gvajakol-peroksidaze i pirogalol-peroksidaze bile su statistički značajno veće u listovima tatule tretirane 0,2%-nim vodenim rastvorom nakon 72-časovnog tretmana u odnosu na izmerenu aktivnost u listovima kontrolne grupe biljaka. Nasuprot tome, 0,1%-ni vodići rastvor nije imao uticaja na promenu peroksidazne aktivnosti u prvih 72 h trajanja tretmana. Međutim, nakon 120-časovnog tretmana, zabeležen je statistički značajan porast aktivnosti pirogalol-peroksidaze. Primenjeni vodići rastvori *S. montana* nisu doveli do statistički

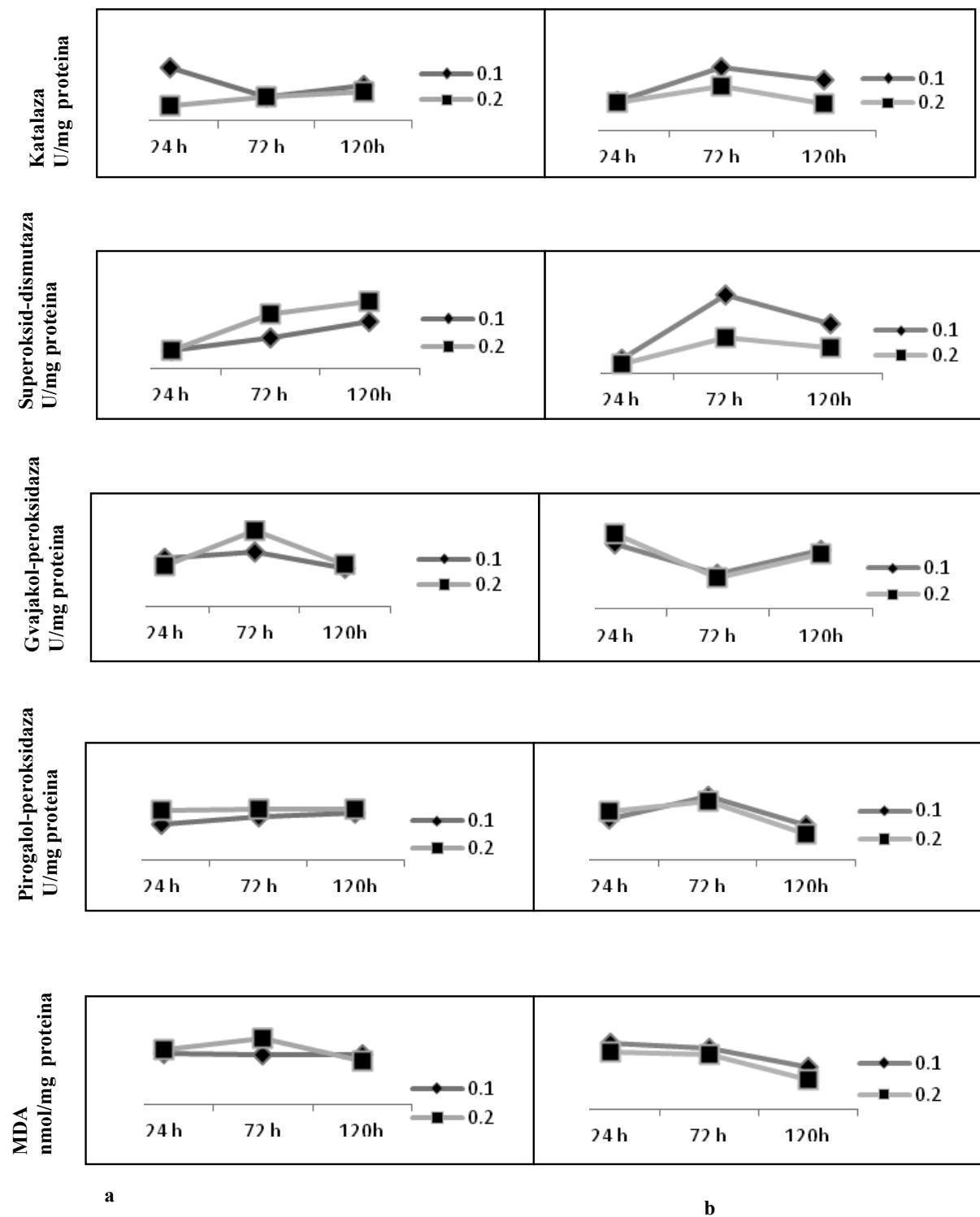
značajne indukcije lipidne peroksidacije u listu tatule (Grafikon 2.) (Šućur, 2015; Šućur i sar., 2018).

U korenu tatule, aktivnost katalaze se pod uticajem 0,1%-nog vodenog rastvora *S. montana* utrostručila u odnosu na izmerenu aktivnost u korenu kontrolne grupe biljaka, nakon 120-časovnog tretmana, dok je pri tretmanu 0,2%-nim vodenim rastvorom bila četiri puta veća nakon istog vremenskog perioda. Primenom blažeg ispitivanog vodenog rastvora *S. montana* (0,1%) došlo je do porasta aktivnosti superoksid-dismutaze u korenu tatule nakon 24-časovnog tretmana, dok se nakon 72-časovnog i 120-časovnog tretmana beleži pad aktivnosti ovog enzima na vrednosti koje se nisu statistički značajno razlikovale od izmerenih vrednosti u korenu kontrolne grupe biljaka. Nakon 24-časovnog tretmana 0,2%-nim rastvorom aktivnost superoksid-dismutaze je statistički značajno smanjena. Pad aktivnosti gvajakol-peroksidaze zabeležen je nakon 24-časovnog tretmana pod uticajem 0,2%-nog vodenog rastvora, dok je tretman blažim rastvorom (0,1%) doveo do statistički značajno veće aktivnosti gvajakol-peroksidaze nakon 120-časovnog tretmana. Primenjeni vodeni rastvori *S. montana* uticali su na isti način na aktivnost pirogalol-peroksidaze. Do statistički značajne razlike došlo je nakon 72-časovnog tretmana, kada je zabeležena inhibicija aktivnosti ovog enzima. Značajan porast intenziteta lipidne peroksidacije zabeležen je u korenu tatule tretirane 0,2%-nim vodenim rastvorom *S. montana* nakon 24-časovnog tretmana, dok je u tratmanu blažim primjenjenim rastvorom (0,1%) do istog efekta došlo nakon 72-časovnog tretmana. Međutim, nakon 120-časovnog tretmana nije bilo statistički značajne razlike u sadržaju malondialdehida u korenu tretiranih i korenu kontrolnih biljaka (Grafikon 2.) (Šućur, 2015; Šućur i sar., 2018).



Grafikon 2. Uticaj vodenog rastvora *S. montana* (0,1% i 0,2%) na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu (a) i korenu (b) tatule (Šućur, 2015).

Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu i korenju klasače

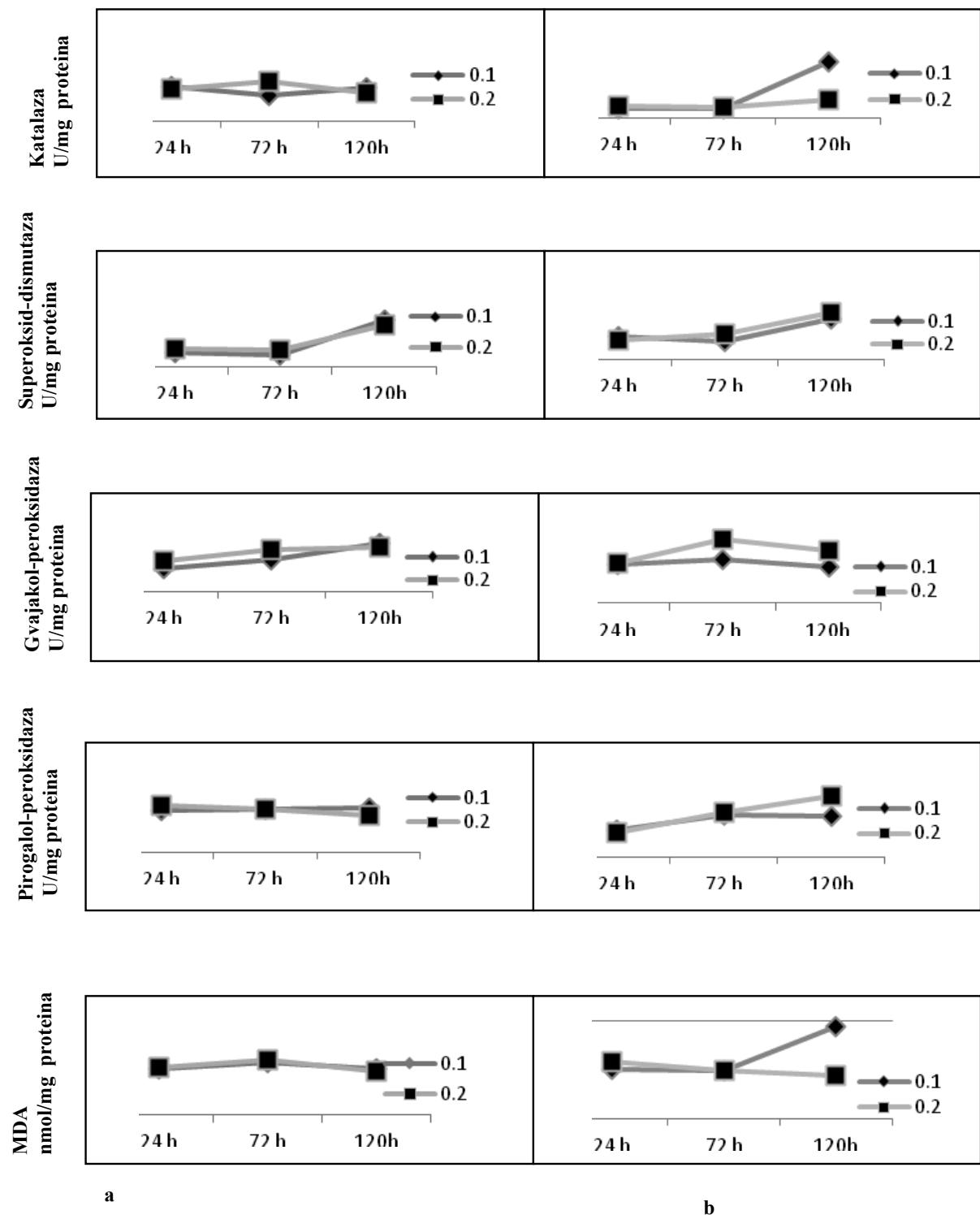


Grafikon 3. Uticaj vodenog rastvora *S. montana* (0,1% i 0,2%) na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu (a) i korenju (b) klasače (Šućur, 2015).

Pod uticajem 0,1%-nog vodenog rastvora *S. montana*, zabeležen je porast aktivnosti katalaze u listu klasače, nakon 24-časovnog tretmana, dok u tretmanu 0,2%-nim vodenim rastvorom nije došlo do statistički značajnih promena u aktivnosti ovog enzima. Oba primenjena vodena rastvora *S. montana* (0,1% i 0,2%) prouzrokovala su porast aktivnosti superoksid-dismutaze nakon 72-časovnog i 120-časovnog tretmana. Najveći porast aktivnosti zabeležen je nakon 120-časovnog tretmana 0,2%-nim vodenim rastvorom *S. montana*, kada je izmerena skoro četiri puta veća aktivnost enzima superoksid-dismutaze u odnosu na izmerenu aktivnost u listu kontrolne grupe biljaka. Statistički značajna promena aktivnosti gvajakol-peroksidaze zabeležena je u tretmanu 0,2%-nim vodenim rastvorom, nakon 72-časovnog tretmana, kada je došlo do porasta aktivnosti. Statistički značajna inhibicija aktivnosti pirogalol-peroksidaze zabeležena je nakon 24-časovnog tretmana blažim rastvorom (0,1%). Sadržaj malondialdehida bio je statistički značajno povećan u tretiranim listovima klasače u odnosu na izmereni sadržaj malondialdehida u listovima kontrolne grupe biljaka nakon 24-časovnog i 72-časovnog tretmana.

Koren klasače pokazao se osjetljivijim na uticaj vodenog rastvora *S. montana* od listova. Aktivnosti superoksid-dismutaze i katalaze su se statistički značajno povećavale nakon 24-časovnog i 72-časovnog tretmana, naročito u tretmanu 0,1%-nim vodenim rastvorom *S. montana*. Izmerena aktivnost superoksid-dismutaze je bila skoro osam puta veća u korenju tretiranih biljaka u odnosu na aktivnost izmerenu u korenju kontrolne grupe biljaka nakon 72-časovnog tretmana. Nakon 120-časovnog tretmana uočena je statistički značajna inhibicija enzima pirogalol-peroksidaze, pri čemu je veću inhibiciju izazvao tretman 0,2%-nim vodenim rastvorom. Statistički značajna inhibicija aktivnosti gvajakol-peroksidaze zabeležena je nakon 72-časovnog tretmana, za oba primenjena rastvora. Ni jedan od primenjenih vodenih rastvora *S. montana* nije doveo do povećane akumulacije malondialdehida u korenju klasače (Grafikon 3.) (Šućur, 2015; Šućur i sar., 2017 c).

Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu i korenu paprike



Grafikon 4. Uticaj vodenog rastvora *S. montana* (0,1% i 0,2%) na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu (a) i korenu (b) paprike (Šućur, 2015).

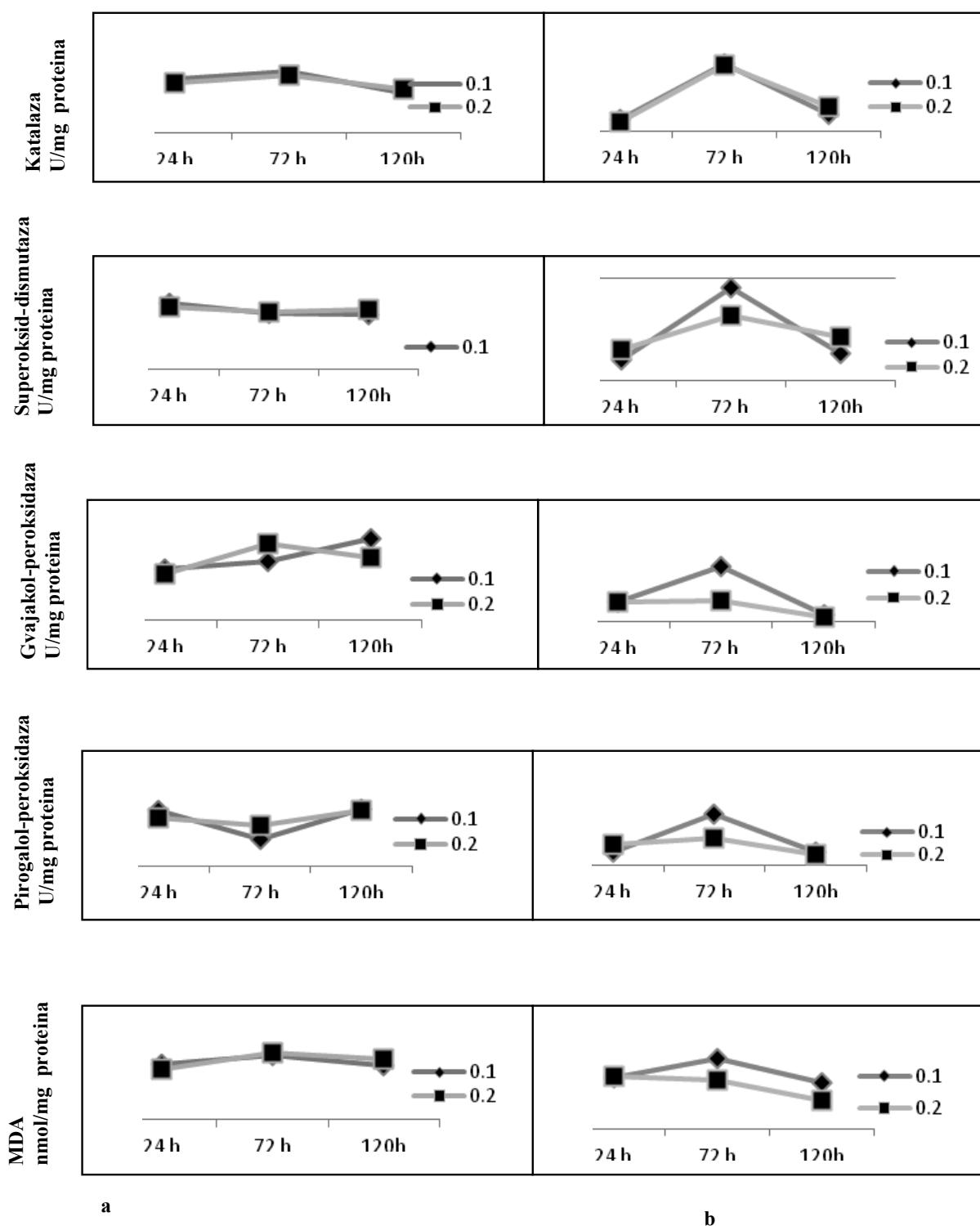
Indukcija aktivnosti katalaze registrovana je u listovima paprike izloženih uticaju oba primenjena vodena rastvora *S. montana* (0,1% i 0,2%) tokom celokupnog trajanja eksperimentalnog perioda. Najveći porast aktivnosti katalaze zabeležen je u listovima paprike koji su bili izloženi uticaju 0,2%-nog vodenog rastvora *S. montana* nakon 72-časovnog tretmana. U listovima tretiranih biljaka paprike došlo je do inhibicije aktivnosti superoksid-dismutaze i gvajakol-peroksidaze nakon 24-časovnog tretmana, kako u tretmanu 0,1%-nim vodenim rastvorom tako i u tretmanu 0,2%-nim vodenim rastvorom. Nasuprot tome, nakon 120-časovnog tretmana nema statistički značajne razlike u aktivnosti gvajakol-peroksidaze izmerene u listovima eksperimentalnih grupa i aktivnosti izmerene u listovima kontrolnih biljaka, dok je nakon istog vremenskog perioda aktivnost superoksid-dismutaze statistički značajno veća u listovima tretiranih biljaka u poređenju sa biljkama kontrolne grupe.

Tretman 0,2%-nim vodenim rastvorom *S. montana* doveo je do statistički značajnog smanjenja aktivnosti pirogalol-peroksidaze u odnosu na izmerenu aktivnost ovog enzima u kontrolnoj grupi biljaka nakon 120-časovnog tretmana, dok je u tretmanu 0,1%-nim vodenim rastvorom aktivnost pirogalol-peroksidaze imala vrednosti koje se statistički značajno nisu razlikovale od izmerenih vrednosti u kontrolnoj grupi biljaka. Ni jedan od primenjenih vodenih rastvora *S. montana* nije doveo do povećane akumulacije malondialdehida u listovima paprike. U korenu tretiranih biljaka paprike zabeleženo je smanjenje aktivnosti katalaze i pirogalol-peroksidaze nakon 24-časovnog i 72-časovnog tretmana. Aktivnost enzima superoksid-dismutaze povećavala se sa dužinom trajanja eksperimenta, pri čemu je najveći porast zabeležen u tretmanu 0,2%-nim vodenim rastvorom nakon 120-časovnog tretmana. Sadržaj izmerenog malondialdehida povećao se samo u korenu paprike tretirane 0,1%-nim vodenim rastvorom *S. montana* nakon 120-časovnog tretmana, dok se nakon tretmana 0,2%-nim rastvorom nije statistički značajno razlikovao između eksperimentalnih grupa i kontrolnih biljaka (Grafikon 4.) (Šućur, 2015; Šućur i sar., 2015 a).

Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu i korenu soje

U listovima soje, pod uticajem vodenog rastvora *S. montana*, nije došlo do statistički značajnih promena u aktivnosti katalaze. Aktivnost superoksid-dismutaze bila je statistički značajno veća u svim tretiranim listovima soje u poređenju sa izmerenim vrednostima u listovima kontrolne grupe biljaka. Inhibicija aktivnosti pirogalol-peroksidaze zabeležena je nakon 72-časovnog tretmana. Statistički značajne promene u aktivnosti gvajakol-peroksidaze zabeležene su nakon 72-časovnog tretmana 0,2%-nim rastvorom, kada je zabeležen porast aktivnosti ovog enzima. Isti efekat je postignut u tretmanu blažim rastvorom (0,1%), nakon 120-časovnog tretmana. Najveća akumulacija malondialdehida izmerena je nakon 72-časovnog tretmana 0,2%-nim vodenim rastvorom.

Koren soje se pokazao osjetljivijim na uticaj oba vodena rastvora *S. montana*. Nakon tretmana došlo je do indukcije aktivnosti superoksid-dismutaze. U korenu biljaka tretiranih vodenim rastvorom *S. montana* izmerena je četiri puta veća aktivnost ovog enzima u odnosu na izmerenu aktivnost u korenu biljaka kontrolne grupe nakon 72-časovnog tretmana. Najveći porast aktivnosti katalaze zabeležen je nakon 72-časovnog tretmana pri tretmanima oba primjenjena rastvora (0,1% i 0,2%), gde je izmerena tri puta veća aktivnost u odnosu na izmerene vrednosti u kontrolnoj grupi biljaka. Aktivnost gvajakol-peroksidaze i pirogalol-peroksidaze se nakon 24-časovnog tretmana nije statistički značajno razlikovala u korenu tretiranih i kontrolnih biljaka. Nakon 120-časovnog tretmana uočeno je statistički značajno smanjenje aktivnosti enzima pirogalol-peroksidaze i gvajakol-peroksidaze, pri čemu je u tretmanu 0,2%-nim vodenim rastvorom zabeležena značajnija inhibicija. Primjenjeni vodeni rastvori *S. montana* nisu doveli do povećane akumulacije malondialdehida u korenu soje (Grafikon 5.) (Šućur, 2015; Šućur i sar., 2016 c).

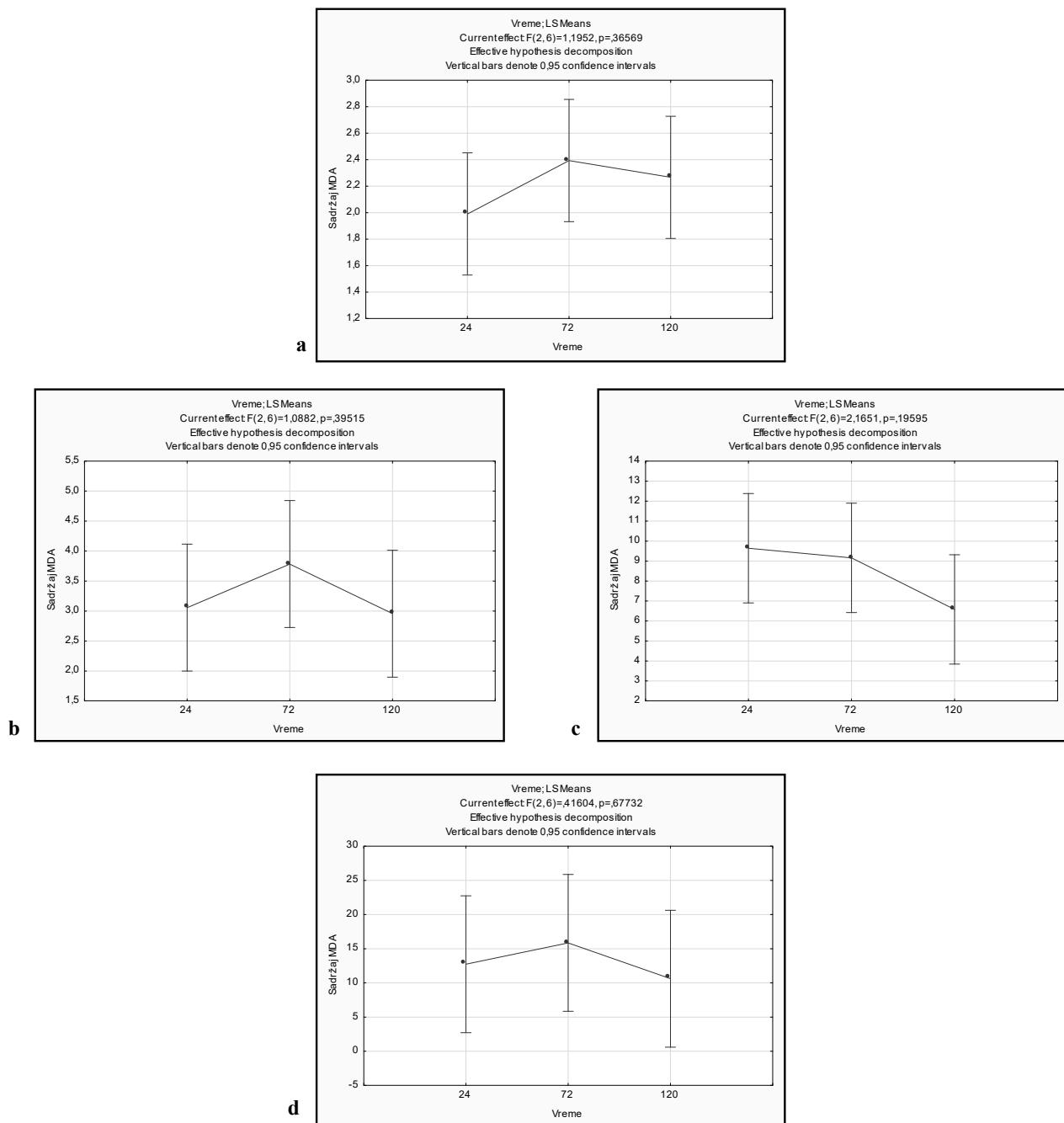


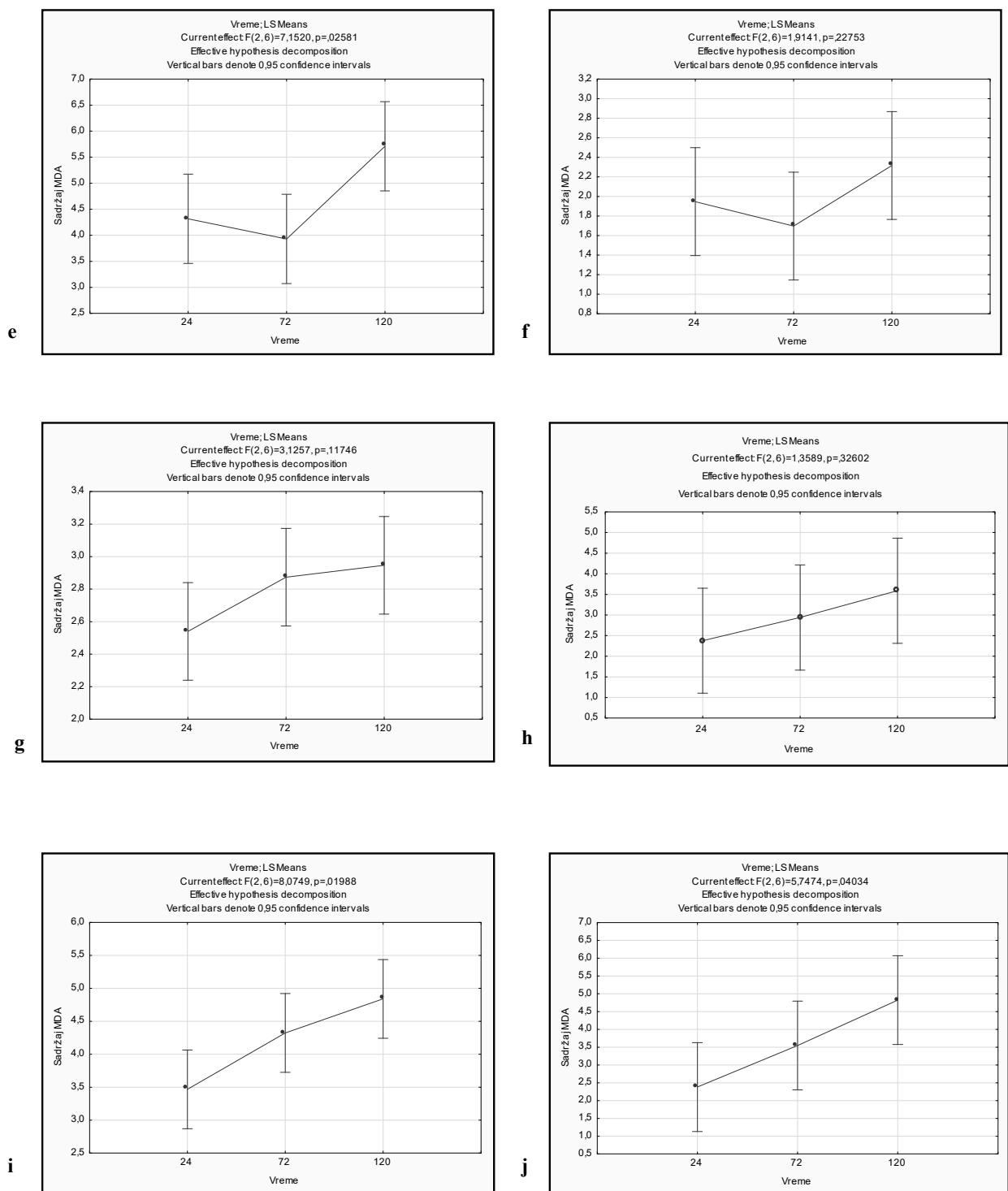
Grafikon 5. Uticaj vodenog rastvora *S. montana* (0,1% i 0,2%) na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu (a) i korenu (b) soje (Šućur, 2015).

Na osnovu prikazanih rezultata alelopatskog potencijala vodenih rastvora *S. montana* primećeno je da su primenjeni rastvori (0,1% i 0,2%) različito uticali na intenzitet lipidne peroksidacije u listu i korenju tretiranih biljaka. U korenju gajenih biljaka, u tretmanima 0,1%-nim vodenim rastvorom, zabeležen je veći sadržaj malondialdehida, dok u tretmanima 0,2%-nim vodenim rastvorom nije dolazilo do statistički značajnih promena u količini izmerenog malondialdehida. U korenju crne pomoćnice i tatule oba primenjena rastvora dovela su do akumulacije malondialdehida nakon 72-časovnog tretmana, pri čemu je veći sadržaj akumuliran u korenju tatule, što je ukazivalo na manju otpornost korova tatule prema vodenom rastvoru *S. montana* u poređenju sa crnom pomoćnicom. Veći intenzitet lipidne peroksidacije zabeležen je u korenju tatule nego u listu, što se objašnjava direktnom izloženosti korena uticaju alelohemikalija prisutnim u rastvoru (Sunmonu i Van Staden, 2014). To je razlog zbog kog je koren ispitivanih biljaka ispoljavao veću osetljivost prema alelohemikalijama od listova (Omezzine i sar., 2014). Pokazano je da koren korova klasače ispoljava veću rezistentnost prema vodenom rastvoru *S. montana* od druga dva korova.

Praćenjem sadržaja malondialdehida tokom vremena trajanja eksperimenta, uočeno je da je sadržaj malondialdehida u listu i korenju crne pomoćnice i tatule najveći nakon 72-časovnog tretmana, dok je kod klasače i gajenih kultura najveći sadržaj malondialdehida izmeren na kraju eksperimentalnog perioda, nakon 120-časovog tretmana. Dobijeni rezultati su ukazivali da korovi crna pomoćnica i tatula vremenom postaju otporni prema stresu koji je izazivao primenjeni rastvor *S. montana* u prvih 72 h trajanja eksperimenta (Grafikon 6.).

Grafikon 6. Promena sadržaja MDA tokom vremena nakon tretmana vodenim rastvorom *S. montana* u listu (a) i korenu (b) crne pomoćnice, listu (c) i korenu (d) tatule, listu (e) i korenu (f) klasače, listu (g) i korenu (h) paprike, listu (i) i korenu (j) soje.





5.3. Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA kod test-biljaka tretiranih vodenim rastvorom *Salvia sclarea* L.



Slika 26. *Salvia sclarea* L.
[\(http://davesgarden.com/guides/pf/showimage/141689/\)](http://davesgarden.com/guides/pf/showimage/141689/)

Salvia sclarea L., kadulja ili muskatna žalfija, je višegodišnja zeljasta biljka. Ima snažan vretenast koren (Kišgeci, 2002), Stabljika je uspravna i čvrsta. Listovi su veliki, raspoređeni duž sabljike u 3–5 parova, prekriveni žlezdastim dlakama. Cvetovi su plave, bele ili roze boje (Džamić i sar., 2008). Poreklom je iz južne Evrope i gaji se širom sveta, posebno u regionu Mediterana i Centralne Evrope (Hudaib i sar., 2001). Raste pretežno na suvim, šljunkovitim terenima (Kišgeci, 2002).

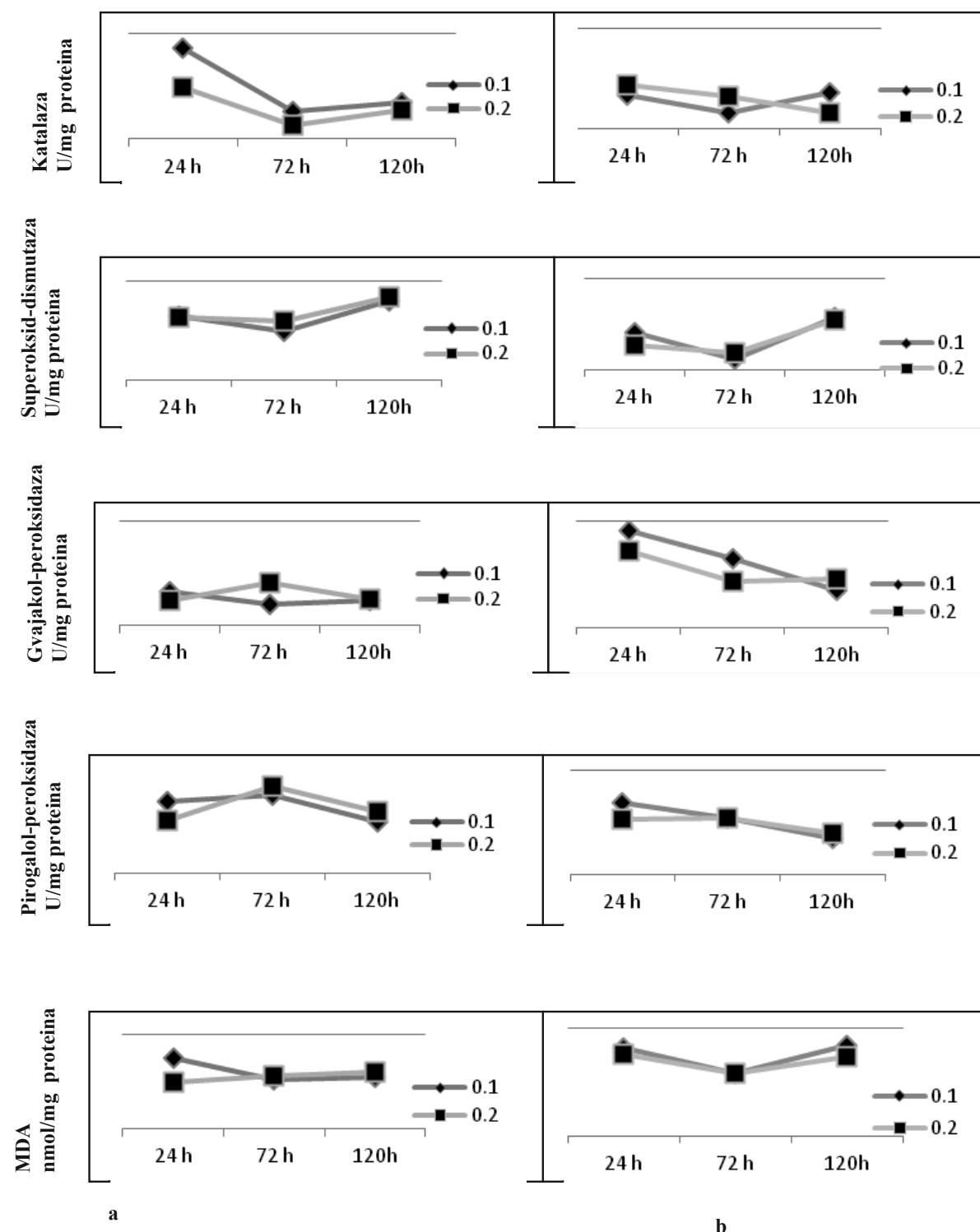
Medicinski i privredni značaj potiče od etarskog ulja (Kužma i sar., 2007). Kao mirisna komponenta ulazi u sastav mnogobrojnih kozmetičkih preparata (Kišgeci, 2002). Upotrebljava se kao antidepresiv, antiseptik, antispazmodik i karminativ (Džamić i sar., 2008). Pokazuje antimikrobrovo (Gülçin i sar., 2004) i larvicidno dejstvo protiv komaraca (Džamić i sar., 2008).

U vodenom rastvoru biljke *S. sclarea*, korišćene u istraživanju, HPLC analizom utvrđeno je prisustvo sledećih jedinjenja: kafena kiselina (65,78 µg/g), kemferol (40,79 µg/g), *trans*-cimetna kiselina (5,27 µg/g), galna kiselina (3,13 µg/g), kvercetin (1,36 µg/g) i *p*-kumarinska kiselina (0,26 µg/g). Zapaženo je da je kao i kod vodenog rastvora *S. montana*, i u vodenom rastvoru *S. sclarea* od kvantifikovanih jedinjenja dominantna komponenta kafena kiselina (Šućur, 2015).

Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu i korenju crne pomoćnice

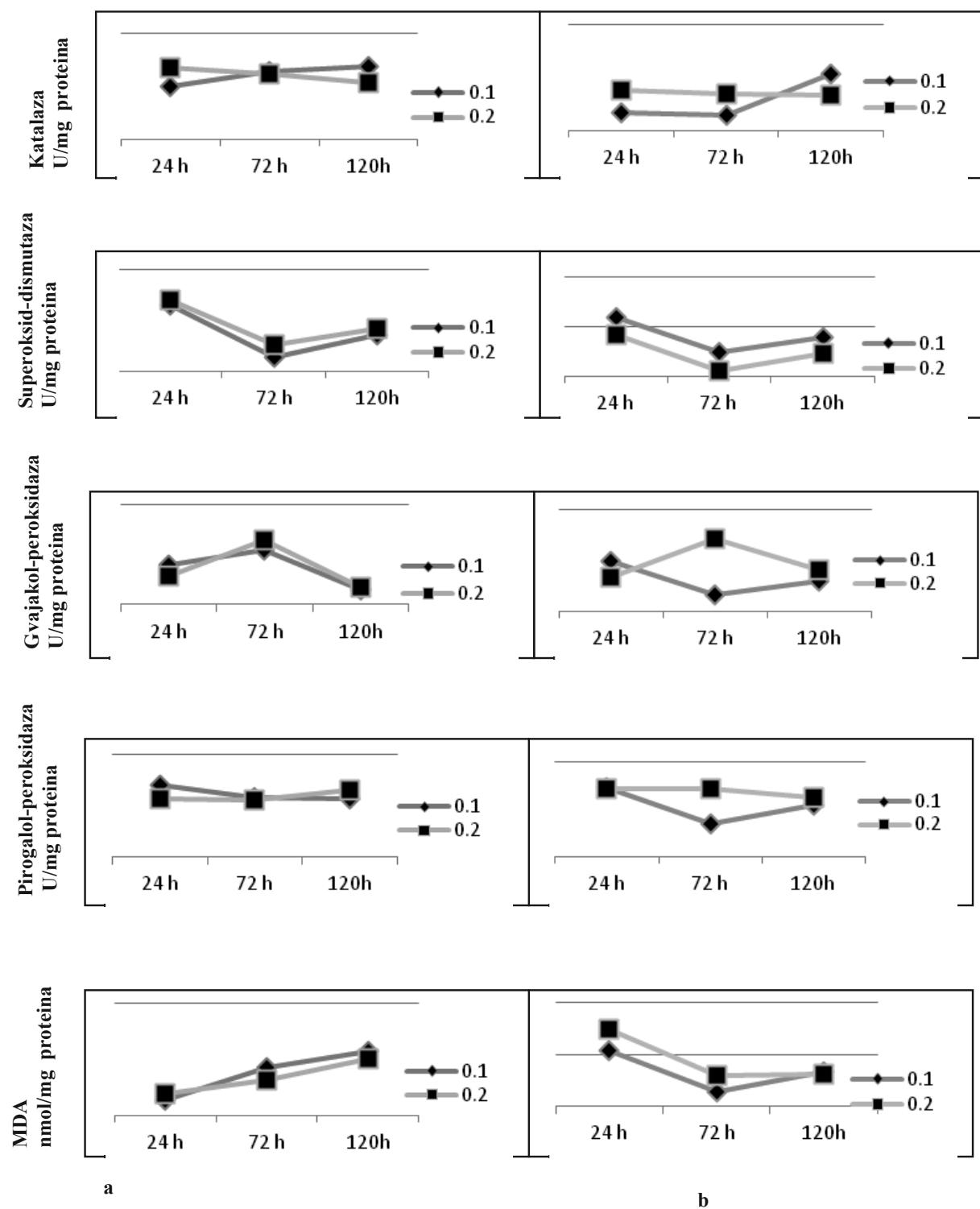
U listu crne pomoćnice, izložene uticaju 0,1%-nog vodenog rastvora *S. sclarea*, došlo je do statistički značajnog povećanja aktivnosti katalaze, koja je nakon 24-časovnog tretmana bila četiri puta veća u listovima tretiranih biljaka u poređenju sa izmerenim vrednostima u listovima kontrolne grupe biljaka. U listovima biljaka tretiranim 0,2%-nim vodenim rastvorom *S. sclarea* uočena je dva puta veća aktivnost katalaze nakon 24-časovnog tretmana. Iako je zapažen pad aktivnosti superoksid-dismutaze nakon 24-časovnog i 72-časovnog tretmana, nakon 120-časovnog tretmana je izmerena veća aktivost u listovima tretiranih biljaka u poređenju sa kontrolnom grupom. Statistički značajan porast aktivnosti gvajakol-peroksidaze i pirogalol-peroksidaze detektovan je u listovima crne pomoćnice tretiranim 0,1%-nim vodenim rastvorom *S. sclarea* nakon 24-časovnog tretmana, dok je u tretmanu 0,2%-nim vodenim rastvorom najveća aktivnost peroksidaza uočena nakon 72-časovnog tretmana. Najveća akumulacija malondialdehida u listovima crne pomoćnice zabeležena je nakon 24-časovnog tretmana 0,1%-nim vodenim rastvorom *S. sclarea*.

U korenju crne pomoćnice statistički značajan porast aktivnosti enzima katalaze zabeležen je nakon 24-časovnog i 72-časovnog tretmana 0,2%-nim vodenim rastvorom *S. sclarea*. Obe primenjene koncentracije vodenog rastvora (0,1% i 0,2%) indukovale su tri puta veću aktivnost superoksid-dismutaze u korenju crne pomoćnice nakon 120-časovnog tretmana. Aktivnost enzima gvajakol-peroksidaze i pirogalol-peroksidaze opadala je sa dužinom trajanja eksperimenta, tako da se statistički značajna inhibicija aktivnosti gvajakol-peroksidaze i pirogalol-peroksidaze uočavala nakon 120-časovnog tretmana, pri čemu je tretman 0,1%-nim vodenim rastvorom *S. sclarea* izazivao veću inhibiciju. Veći sadržaj malondialdehida zabeležen je u korenju nego u listovima. Najveća razlika u sadržaju malondialdehida u korenju tretiranih i netretiranih biljaka bila je nakon 120-časovnog tretmana 0,1%-nim vodenim rastvorom *S. sclarea* (Grafikon 7.) (Šućur, 2015; Šućur i sar., 2015 b).



Grafikon 7. Uticaj vodenog rastvora *S. sclarea* (0,1% i 0,2%) na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu (a) i korenu (b) crne pomoćnice (Šućur, 2015).

Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu i korenu tatule



Grafikon 8. Uticaj vodenog rastvora *S. sclatera* (0,1% i 0,2%) na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu (a) i korenu (b) tatule (Šućur, 2015).

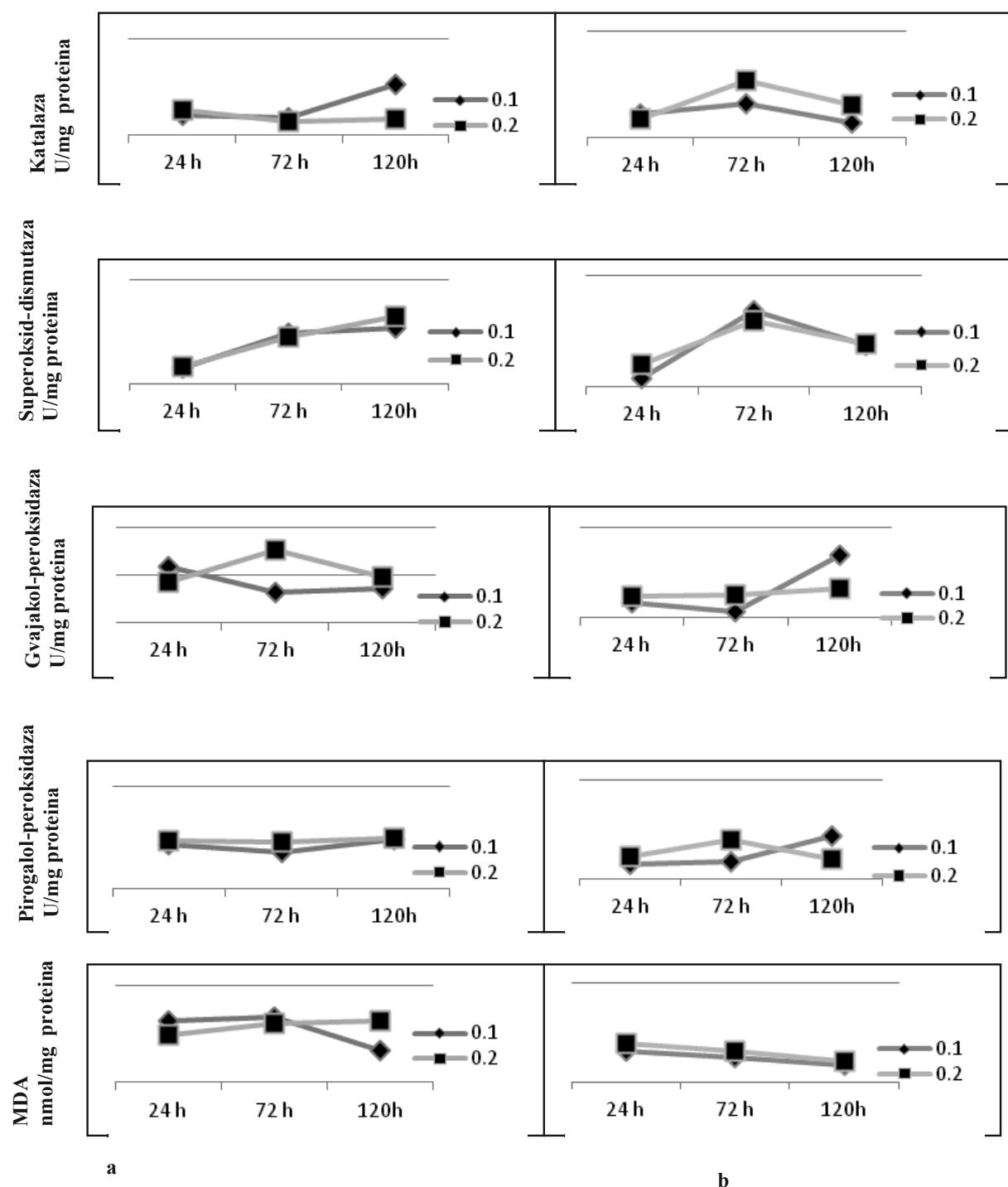
Pod uticajem vodenog rastvora *S. sclarea* došlo je do inhibicije aktivnosti enzima superoksid-dismutaze u listovima tatule pri oba primenjena rastvora (0,1% i 0,2%) nakon 72-časovnog tretmana. Nasuprot tome, primjenjeni vodeni rastvori *S. sclarea* uticali su na povećanu aktivnost peroksidaza u listovima tatule. Statistički značajno povećanje aktivnosti gvajakol-peroksidaze detektovano je u tretmanima oba primenjena rastvora nakon 72-časovnog tretmana, dok je na povećanu aktivnost pirogalol-peroksidaze uticao 0,1%-ni voden rastvor nakon 24-časovnog tretmana. Ni jedan od primenjenih vodenih rastvora *S. sclarea* nije imao uticaja na aktivnost katalaze u listu tatule, kao ni na indukciju lipidne peroksidacije. Naprotiv, nakon 24-časovnog i 72-časovnog tretmana zabeležen je manji sadržaj malondialdehida u listovima tretiranih biljaka u poređenju sa izmerenim sadržajem malondialdehida u listovima kontrolne grupe biljaka.

U korenu tatule, aktivnost katalaze se povećala pod uticajem 0,1%-nog vodenog rastvora *S. sclarea* nakon 120-časovnog tretmana, dok se u tretmanu 0,2%-nim vodenim rastvorom nije značajno razlikovala od izmerenih vrednosti u kontrolnoj grupi nakon istog vremenskog perioda. Kako u listovima, tako je i u korenu tatule došlo do inhibicije aktivnosti superoksid-dismutaze u tretmanima oba primenjena rastvora. Pad aktivnosti zabeležen je i za pirogalol-peroksidazu. Pod uticajem 0,2%-nog vodenog rastvora *S. sclarea* aktivnost pirogalol-peroksidaze je bila niža u tretiranim biljkama sve vreme tokom trajanja eksperimenta, dok je u tretmanu 0,1%-nim vodenim rastvorom najveća inhibicija postignuta nakon 72-časovnog tretmana. Na aktivnost gvajakol-peroksidaze uticala su oba primenjena rastvora. Do statistički značajne razlike između tretmana i kontrole došlo je nakon 120-časovnog tretmana, kada je zabeležena inhibicija aktivnosti ovog enzima u tretiranim biljkama. Značajno povećanje intenziteta lipidne peroksidacije zabeleženo je u korenu tatule nakon 24-časovnog tretmana. Nakon 72-časovnog tretmana nisu uočene statistički značajne razlike u sadržaju malondialdehida izmerenih u korenu tretiranih i kontrolnih biljaka (Grafikon 8.) (Šućur i sar., 2016 a).

Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu i korenu klasače

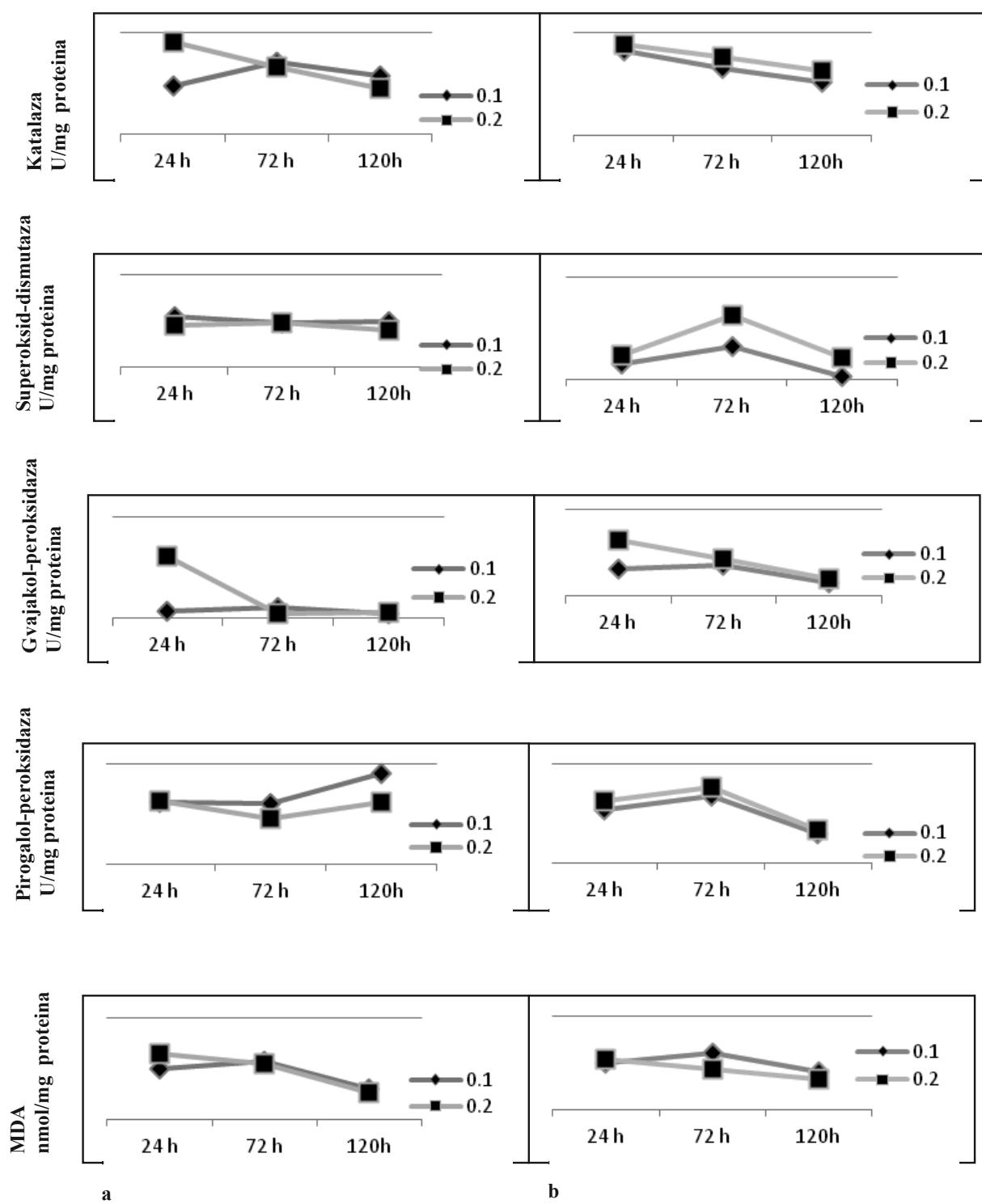
Blaži voden rastvor *S. sclarea* (0,1%) doveo je do povećane aktivnosti enzima katalaze u listovima klasače nakon 120-časovnog tretmana, dok 0,2%-ni rastvor nije uticao na aktivnost pomenutog enzima. Oba primenjena rastvora indukovala su povećanje aktivnosti superoksid-dismutaze u listovima tretiranih biljaka nakon 72-časovnog i 120-časovnog tretmana. Tretman 0,2%-nim vodenim rastvorom *S. sclarea* prouzrokovao je indukciju aktivnosti gvajakol-peroksidaze nakon 72-časovnog tretmana. Ni jedan od primenjenih rastvora nije imao značajan uticaj na aktivnost pirogalol-peroksidaze u listovima klasače. Pri tretmanu 0,1%-nim vodenim rastvorom *S. sclarea* u listovima je zabeležen veći sadržaj malondialdehida nakon 24-časovnog i 72-časovnog tretmana, u odnosu na izmereni sadržaj malondialdehida u netretiranim biljkama. U tretmanu 0,2%-nim vodenim rastvorom, razlika u sadržaju malondialdehida u listovima tretiranih i netretiranih biljaka povećavala se sa vremenom, najveći sadržaj je zabeležen nakon 120-časovnog tretmana. Aktivnost katalaze u korenu klasače povećavala se u prvih 72 h trajanja eksperimenta, nakon 72-časovnog tretmana je zabeležena maksimalna aktivnost. U tretmanu blažim rastvorom (0,1%) aktivnost katalaze bila je tri puta veća u poređenju sa onom izmerenom kod kontrolne grupe biljaka, dok je pod uticajem 0,2%-nog vodenog rastvora izmerena pet puta veća aktivnost. Nakon 72-časovnog tretmana došlo je do smanjenja aktivnosti ovog enzima. Povećanje aktivnosti superoksid-dismutaze u korenu klasače zabeleženo je nakon 72-časovnog i 120-časovnog tretmana za oba primenjena vodena rastvora. Maksimalna aktivnost gvajakol-peroksidaze i pirogalol-peroksidaze u korenu klasače tretiranim 0,1%-nim vodenim rastvorom *S. sclarea* zabeležena je nakon 120-časovnog tretmana. Povećana aktivnost gvajakol-peroksidaze i pirogalol-peroksidaze uočena je nakon 72-časovnog tretmana 0,2%-nim vodenim rastvorom *S. sclarea*. Povećana aktivnost gvajakol-peroksidaze se održala i nakon 120-časovnog tretmana, dok se aktivnost pirogalol-peroksidaze nakon istog vremenskog perioda nije statistički značajno razlikovala od izmerene aktivnosti u kontrolnoj grupi. Ni jedan od primenjenih

vodenih rastvora *S. sclarea* nije doveo do povećane akumulacije malondialdehida (Grafikon 9.) (Šućur i sar., 2016 b; Šućur i sar., 2019).



Grafikon 9. Uticaj vodenog rastvora *S. sclarea* (0,1% i 0,2%) na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu (a) i korenju (b) klaseče (Šućur, 2015).

Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu i korenu paprike



Grafikon 10. Uticaj vodenog rastvora *S. montana* (0,1% i 0,2%) na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu (a) i korenu (b) paprike (Šućur, 2015).

Pod uticajem 0,2%-nog vodenog rastvora *S. sclarea* aktivnost katalaze se statistički značajno povećala nakon 24-časovnog tretmana u odnosu na aktivnost izmerenu u kontrolnoj grupi biljaka, nakon čega je aktivnost opadala do vrednosti jednakih onim izmerenim u listovima kontrolne grupe biljaka. Tretman 0,1%-nim vodenim rastvorom nije uticao na promenu aktivnosti superoksid-dismutaze u listovima paprike, dok je tretman 0,2%-nim vodenim rastvorom doveo do inhibicije aktivnosti superoksid-dismutaze. Smanjenje aktivnosti gvajakol-peroksidaze i pirogalol-peroksidaze primećeno je u listovima paprike pod uticajem obe primenjene koncentracije vodenog rastvora *S. sclarea*. Sadržaj izmerenog malondialdehida povećao se u listovima paprike tretirane 0,2%-nim vodenim rastvorom *S. sclarea* nakon 24-časovnog i 72-časovnog tretmana, dok je nakon 120-časovnog tretmana zabeležen manji sadržaj malondialdehida u tretiranim biljkama u odnosu na izmerene vrednosti u listovima kontrolne grupe biljaka za obe primenjene koncentracije. U korenju biljaka paprike tretiranih vodenim rastvorima *S. sclarea* došlo je do smanjenja aktivnosti katalaze, superoksid-dismutaze, gvajakol-peroksidaze i pirogalol-peroksidaze nakon 120-časovnog tretmana, kao i sadržaja malondialdehida (Grafikon 10.) (Šućur i sar., 2015 b).

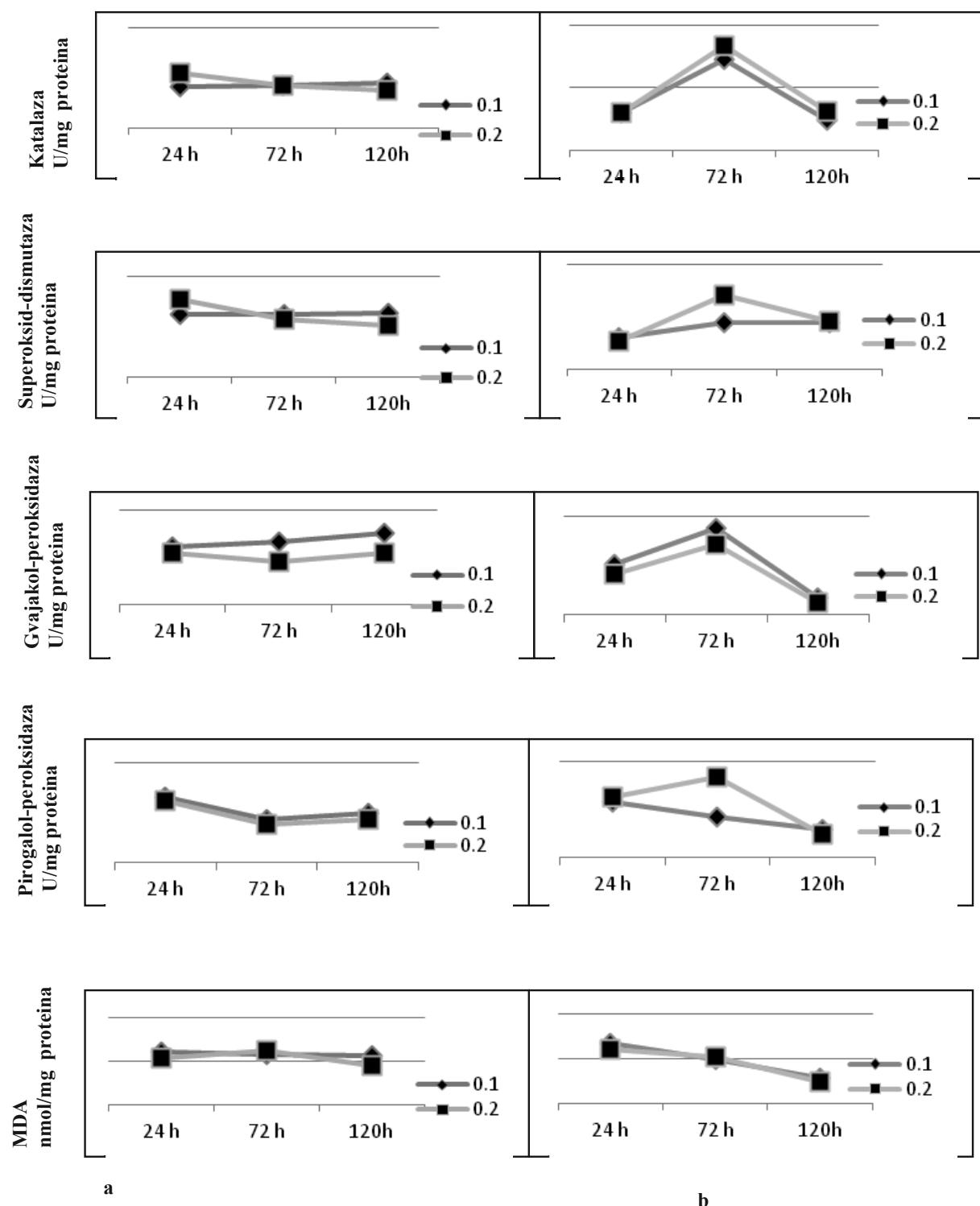
Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu i korenju soje

Jači primenjeni vodići rastvor *S. sclarea* (0,2%) doveo je do inhibicije aktivnosti enzima katalaze u listovima soje nakon 120-časovnog tretmana, dok blaži primenjeni rastvor (0,1%) nije ispoljio uticaj na katalaznu aktivnost. Oba primenjena rastvora (0,1% i 0,2%) indukovala su povećanu aktivnost superoksid-dismutaze u listovima tretiranih biljaka. Tretman 0,1%-nim vodenim rastvorom *S. sclarea* izazvao je statistički značajan porast aktivnosti gvajakol-peroksidaze nakon 72-časovnog i 120-časovnog tretmana. Primjenjeni vodići rastvori *S. sclarea* nisu doveli do statistički značajne promene aktivnost

pirogalol-peroksidaze. Pri tretmanu 0,1%-nim vodenim rastvorom *S. sclarea* u listovima soje zabeležen je statistički značajno veći sadržaj malondialdehida u odnosu na izmeren sadržaj malondialdehida u listovima kontrolne grupe biljaka. Razlika u sadržaju malondialdehida u listovima tretiranih i netretiranih biljaka bila je najveća nakon 24-časovnog tretmana, nakon čega je opadala. U korenu soje zabeleženo je povećanje aktivnosti katalaze nakon 72-časovnog tretmana za oba primjenjena rastvora, dok se nakon 120-časovnog tretmana nije statistički značajno razlikovala od izmerene aktivnosti u korenu kontrolnih biljaka. Oba primjenjena rastvora dovela su do povećanja aktivnosti superoksid-dismutaze u korenu soje nakon 72-časovnog tretmana. Nasuprot tome, nakon 120-časovnog tretmana zabeležen je pad aktivnosti gvajakol-peroksidaze i pirogalol-peroksidaze, kao i sadržaja malondialdehida u odnosu na kontrolnu grupu biljaka (Grafikon 11.) (Šućur i sar., 2016 a).

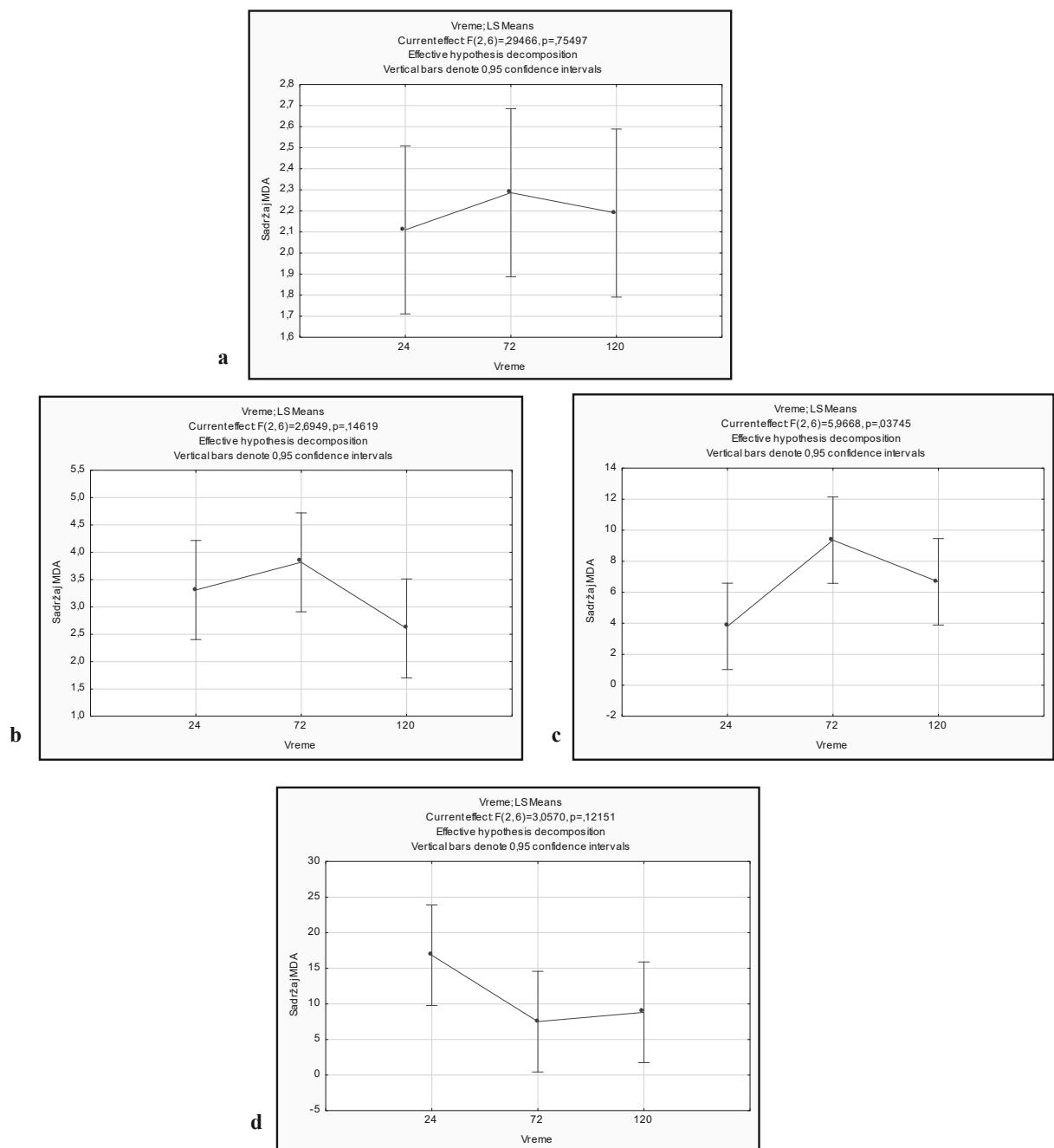
Upoređivanjem efekata vodenih rastvora *S. sclarea* na sadržaj malondialdehida u listovima i korenu tretiranih biljaka, uočavao se povećan sadržaj malondialdehida nakon 120-časovnog tretmana jedino u listovima i korenu crne pomoćnice. Preostale četiri tretirane biljke pokazale su veću otpornost prema vodenom rastvoru *S. sclarea* na promenu sadržaja malondialdehida, iako je i kod njih uočena promena aktivnosti antioksidativnih enzima. Dobijeni rezultati su potvrđili da su različite biljne vrste različito osetljive na ispitivane rastvore tj. na alelohemikalije prisutne u njima.

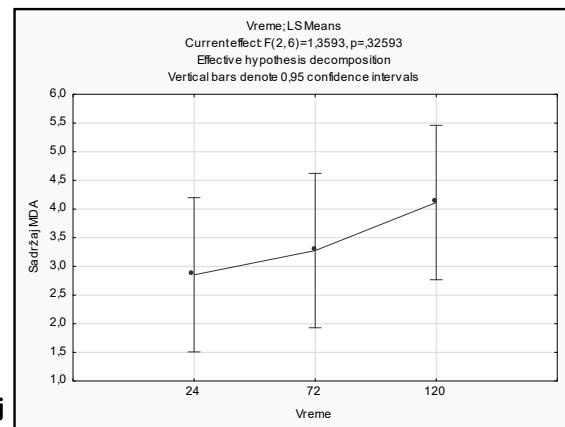
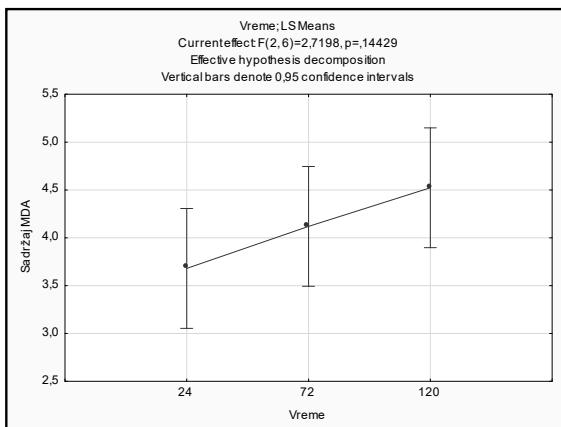
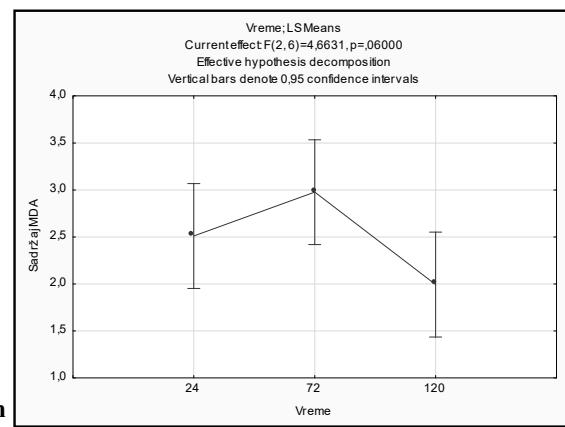
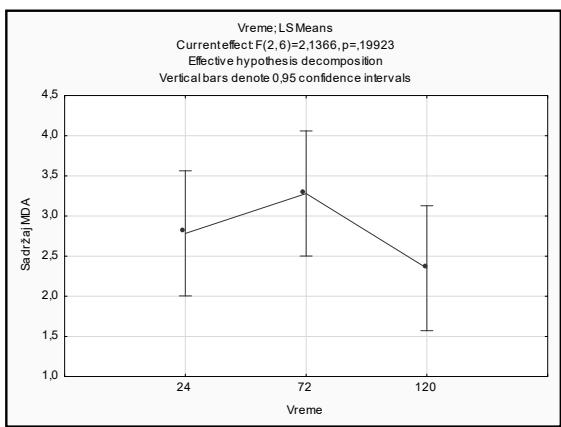
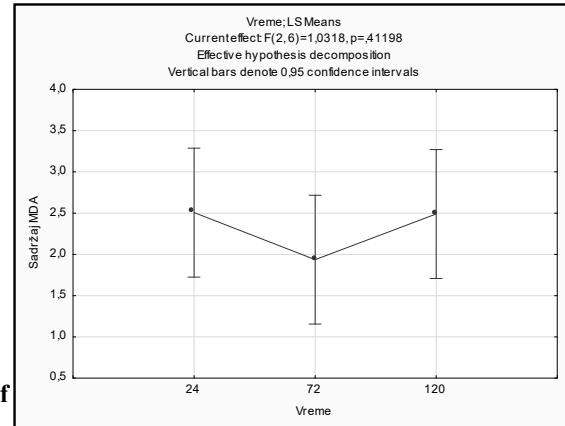
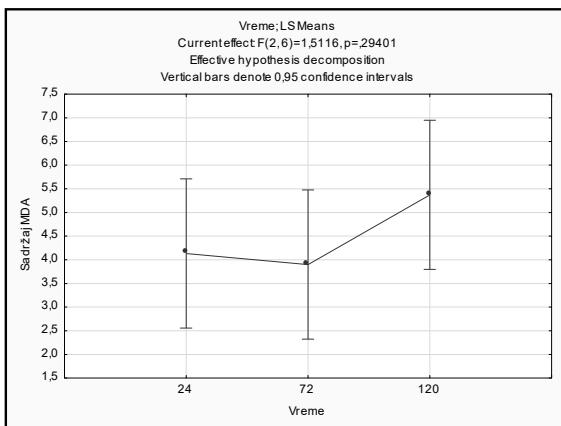
Praćenjem sadržaja malondialdehida tokom vremena trajanja eksperimenta, uočavalo se da je sadržaj malondialdehida u listu i korenu crne pomoćnice, tatule i paprike najveći nakon 72-časovnog tretmana, dok je kod klasače i soje najveći sadržaj malondialdehida izmeren na kraju eksperimentalnog perioda, tj. nakon 120-časovnog tretmana (Grafikon 12).



Grafikon 11. Uticaj vodenog rastvora *S. sclarea* (0,1% i 0,2%) na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu (a) i korenju (b) soje (Šućur, 2015).

Grafikon 12. Promena sadržaja MDA tokom vremena nakon tretmana vodenim rastvorom *S. sclarea* u listu (a) i korenu (b) crne pomoćnice, listu (c) i korenu (d) tatule, listu (e) i korenu (f) klasače, listu (g) i korenu (h) paprike, listu (i) i korenu (j) soje.





5.4. Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA kod test-biljaka tretiranih vodenim rastvorom *Clinopodium menthifolium* Host.



Slika 27. *Clinopodium menthifolium* Host
(<http://www.biolib.cz/en/image/id195032/>)

Clinopodium menthifolium Host pripada rodu *Clinopodium*, koji je u zemljama Evrope, južne i istočne Azije zastupljen sa oko 10 vrsta. U našoj flori zastupljena je samo jedna vrsta (Šilić, 1979). Vrste roda *Clinopodium* su višegodišnje biljke, sa dobro razvijenim korenom i listovima ovalnog oblika. Cvetovi su smešteni u pazuzu listova pri vrhu stabljike (Šilić, 1979). Poseduju antioksidativnu i antimikrobnu aktivnost (Slavkovska i sar., 2013).

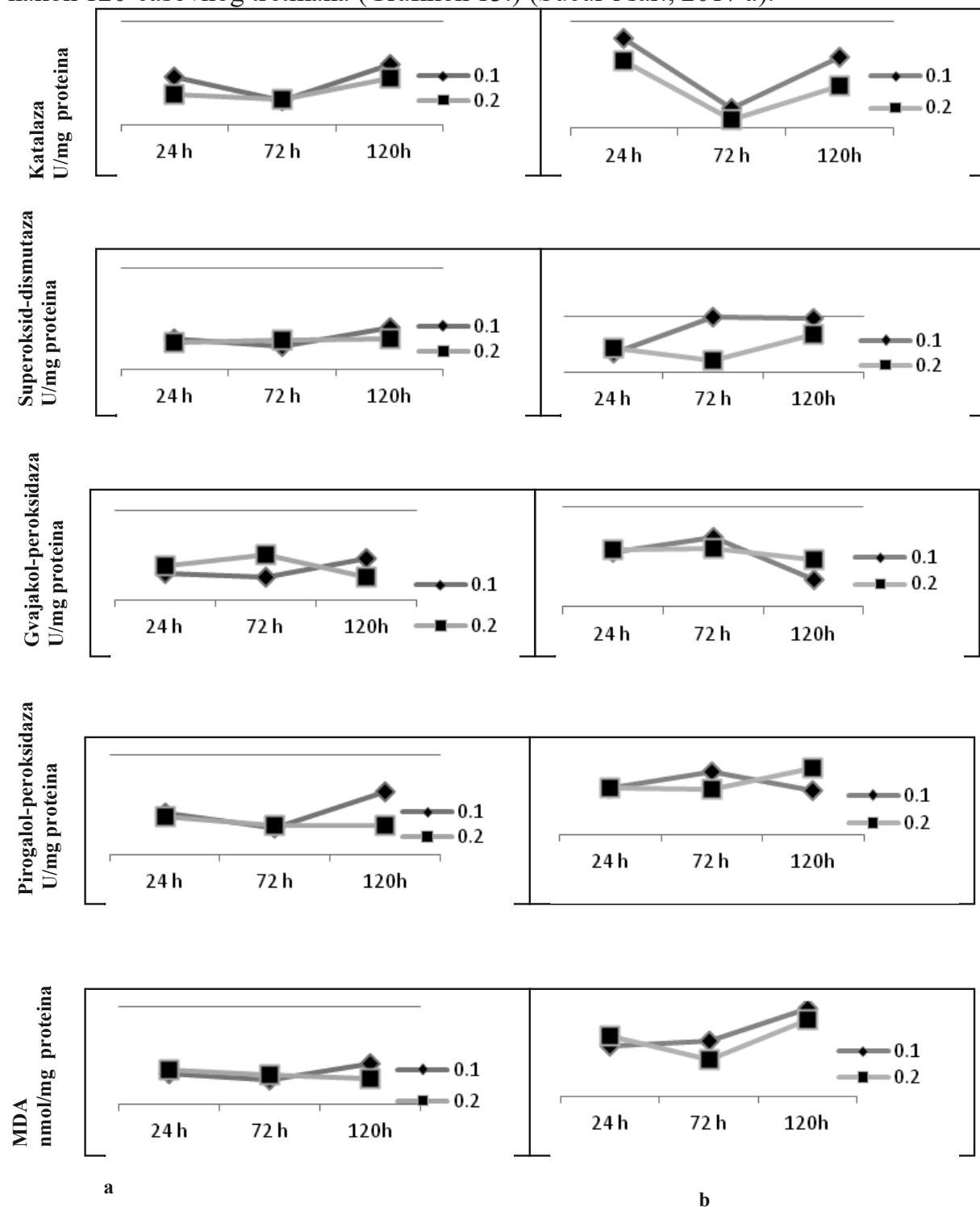
U vodenom rastvoru biljke *C. menthifolium*, korišćene u istraživanju, HPLC analizom identifikovane su sledeće komponente: galna kiselina (15,99 µg/g), kafena kiselina (13,87 µg/g), 2-hidroksicimetna kiselina (13,54 µg/g), 5-O-kafeoilhinska kiselina (12,00 µg/g), *trans*-cimetna kiselina (2,17 µg/g), kemferol (2,25 µg/g), kvercetin (2,39 µg/g) i *p*-kumarinska kiselina (1,46 µg/g) (Šućur, 2015; Šućur i sar., 2017 a).

Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu i korenju crne pomoćnice

Primenjeni vodenim rastvori *C. menthifolium* (0,1% i 0,2%) prouzrokovali su indukciju aktivnosti enzima katalaze i superoksid-dismutaze u listovima crne pomoćnice, pri čemu je najveća razlika u aktivnosti između tretiranih i netretiranih biljaka izmerena nakon 120-časovnog tretmana. Nakon tretmana 0,1%-nim vodenim rastvorom *C. menthifolium* zabeležen je statistički značajan porast aktivnosti enzima gvajakol-peroksidaze i pirogalol-peroksidaze, pri čemu je najveća razlika u aktivnosti između tretiranih i kontrolnih biljaka zabeležena nakon 120-časovnog tretmana. U prvih 72 h trajanja tretmana zabeležen je statistički značajan porast aktivnosti gvajakol-peroksidaze u listovima crne pomoćnice tretirane 0,2%-nim vodenim rastvorom, nakon čega je zabeležen pad peroksidazne aktivnosti. Intenzitet lipidne peroksidacije je bio statistički značajno veći u listovima tretiranih biljaka u poređenju sa izmerenim vrednostima u kontrolnoj grupi biljaka u svim tretmanima. Najveći sadržaj malondialdehida je izmeren u listovima crne pomoćnice tretirane 0,1%-nim vodenim rastvorom, nakon 120-časovnog tretmana.

Do statistički značajnog porasta aktivnosti katalaze u korenju crne pomoćnice dovodila su oba ispitivana rastvora *C. menthifolium*. Oba rastvora inhibirala su aktivnost superoksid-dismutaze nakon 24-časovnog tretmana, dok je nakon 120-časovnog tretmana izmerena aktivnost u listovima tretiranih biljaka crne pomoćnice bila veća u odnosu na izmerenu aktivnost u kontrolnoj grupi biljaka. Pad aktivnosti zabeležen je i za gvajakol-peroksidazu nakon 120-časovne izloženosti korena uticaju 0,1%-nog vodenog rastvora, dok 0,2%-ni vodenim rastvorom *C. menthifolium* nije doveo do statistički značajne promene aktivnosti gvajakol-peroksidaze. Statistički značajan porast aktivnosti pirogalol-peroksidaze u tretmanu 0,1%-nim vodenim rastvorom zabeležen je nakon 72-časovnog tretmana, dok je tretman 0,2%-nim vodenim rastvorom doveo do statistički značajno veće aktivnosti pirogalol-peroksidaze nakon 120-časovnog tretmana. Značajniji porast intenziteta lipidne peroksidacije zabeležen je u

korenu biljaka crne pomoćnice tretiranih vodenim rastvorom *C. menthifolium* nakon 120-časovnog tretmana (Grafikon 13.) (Šućur i sar., 2017 a).

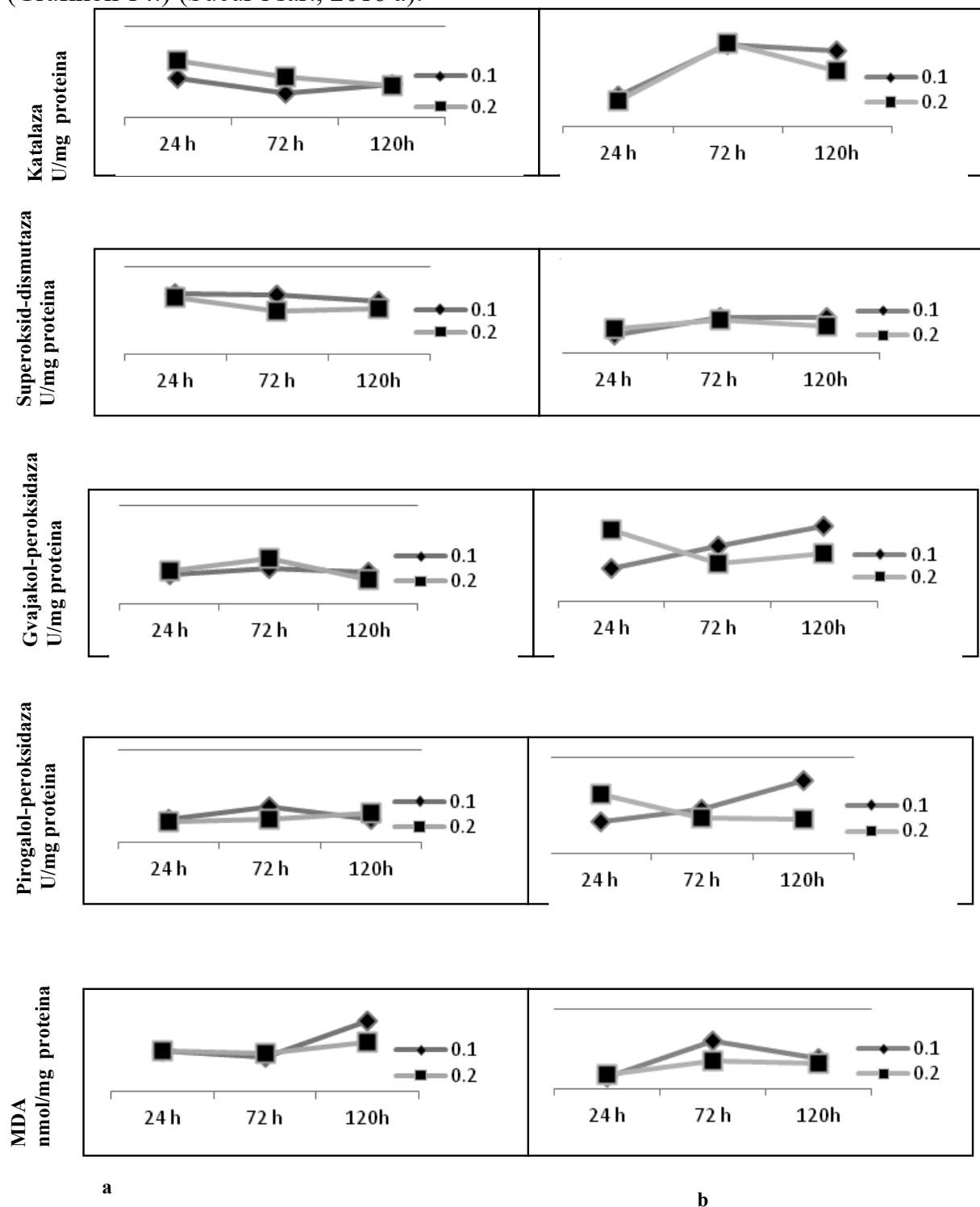


Grafikon 13. Uticaj vodenog rastvora *C. menthifolium* (0,1% i 0,2%) na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu (a) i korenu (b) crne pomoćnice (Šućur, 2015).

Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu i korenu tatule

Na statistički značajno povećanje aktivnosti superoksid-dismutaze u listovima tatule imala je uticaj 0,1%-na koncentracija vodenog rastvora *C. menthifolium*. Nasuprot tome, isti rastvor prouzrokovao je inhibiciju aktivnosti katalaze. Tretman 0,2%-nim vodenim rastvorom nije imao uticaj na aktivnost enzima superoksid-dismutaze nakon 120-časovnog tretmana, dok je nakon istog vremenskog perioda zabeležena statistički značajna inhibicija aktivnosti katalaze. Ni jedan od primenjenih vodenih rastvora *C. menthifolium* nije doveo do povećane akumulacije malondialdehida u listovima tatule. U korenu tatule, primjenjeni vodići rastvori *C. menthifolium* indukovali su povećanu aktivnost enzima katalaze, koja je bila skoro četiri puta veća u korenu tretiranih biljaka u poređenju sa izmerenim vrednostima u korenu kontrolne grupe. Zabeležena je i dva puta veća aktivnost superoksid-dismutaze u korenu tretiranog korova nakon 72-časovnog tretmana. Primena 0,1%-nog vodenog rastvora *C. menthifolium* dovela je do statistički značajne modulacije aktivnosti peroksidaza. Nakon 24-časovnog tretmana izmerena aktivnost oba enzima (gvajakol-peroksidaze i pirogalol-peroksidaze) je bila manja u korenu tretiranih biljaka u odnosu na kontrolu, dok je nakon 120-časovnog tretmana zabeležen statistički značajan porast aktivnosti gvajakol-peroksidaze i pirogalol-peroksidaze u korenu tretiranih biljaka. Vodići rastvor *C. menthifolium* koncentracije 0,2% je doveo do povećanja aktivnosti gvajakol-peroksidaze i pirogalol-peroksidaze nakon 24-časovnog tretmana, nakon čega je zabeležen pad aktivnosti. Tako da se izmerene vrednosti za aktivnost gvajakol-peroksidaze u korenu tretiranih biljaka nisu razlikovale od vrednosti izmerenih u korenu kontrolne grupe biljaka nakon 120-časovnog tretmana, dok je za pirogalol-peroksidazu detektovana manja aktivnost u korenu tretiranih biljaka. Koren tatule se pokazao osjetljivijim na uticaj primenjenih vodenih rastvora *C. menthifolium* po izmerenom sadržaju malondialdehida u odnosu na listove. U korenu tretiranih biljaka je zabeležena veća akumulacija malondialdehida u poređenju sa sadržajem malondialdehida u korenu netretranih biljaka nakon 72-časovnog i 120-časovnog tretmana, dok u

listovima nije došlo do statistički značajnih promena u sadržaju malondialdehida (Grafikon 14.) (Šućur i sar., 2016 a).

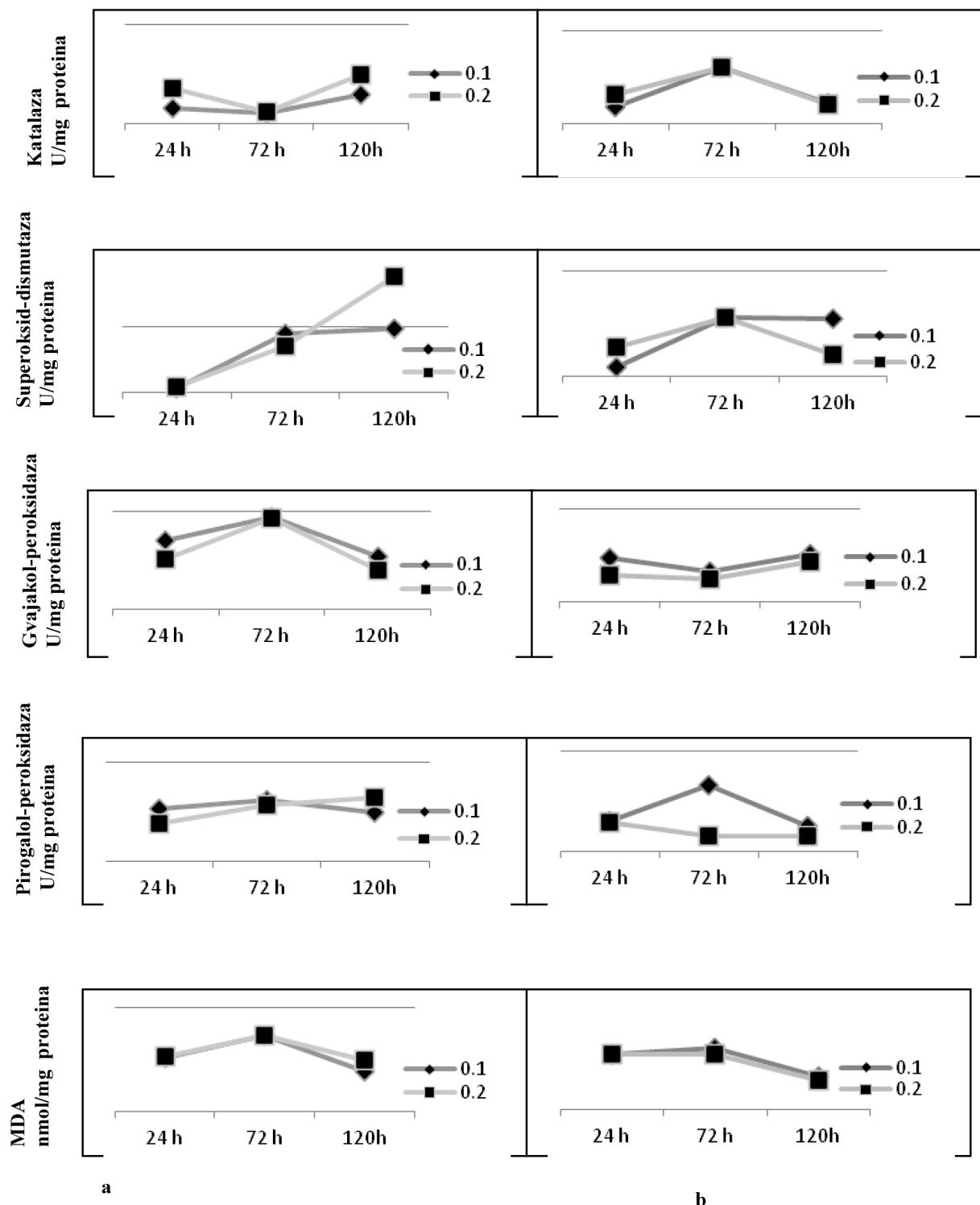


Grafikon 14. Uticaj vodenog rastvora *C. menthifolium* (0,1% i 0,2%) na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu (a) i korenu (b) tatule (Šućur, 2015).

Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu i korenu klasače

U listovima klasače, pod uticajem 0,1%-nog vodenog rastvora *C. menthifolium* nije došlo do statistički značajnih promena u aktivnosti katalaze. Tretman 0,2%-nim vodenim rastvorom *C. menthifolium* je doveo do statistički značajne indukcije ovog enzima nakon 120-časovnog tretmana. Aktivnost superoksid-dismutaze je bila veća u listovima tretiranih biljaka posle 72 h izloženosti uticaju rastvora, pri čemu je najveća aktivnost zabeležena u tretmanu 0,2%-nim vodenim rastvorom *C. menthifolium* nakon 120-časovnog tretmana. Tretman obe primenjene koncentracije vodenog rastvora *C. menthifolium* (0,1% i 0,2%) izazvao je statistički značajan porast aktivnosti gvajakol-peroksidaze u listovima klasače nakon 72-časovnog tretmana. Tokom čitavog eksperimentalnog perioda aktivnost pirogalol-peroksidaze je bila ujednačena između eksperimentalnih grupa. Jedino povećanje aktivnosti ovog enzima izmereno je nakon 120-časovnog tretmana većom primjenjom koncentracijom vodenog rastvora *C. menthifolium* (0,2%). Do akumulacije malondialdehida došlo je nakon 72-časovnog tretmana, međutim, nakon 120-časovnog tretmana nije bilo statistički značajne razlike u sadržaju malondialdehida između tretiranih i kontrolnih biljaka.

U korenu klasače statistički značajan porast aktivnosti katalaze zabeležen je nakon 72-časovnog tretmana za oba primenjena rastvora, kada je izmerena šest puta veća aktivnost. Praćenjem aktivnosti superoksid-dismutaze uočava se porast aktivnosti tokom vremena trajanja eksperimenta u tretmanu nižim vodenim rastvorom *C. menthifolium* (0,1%), tako da je najveća aktivnost ovog enzima zabeležena nakon 120-časovnog tretmana. Nasuprot tome u tretmanu 0,2%-nim vodenim rastvorom najveća aktivnost superoksid-dismutaze izmerena je nakon 72-časovnog tretmana, nakon čega je zabeležen pad superoksidazne aktivnosti, tako da se aktivnost superoksid-dismutaze nije statistički značajno razlikovala od izmerenih vrednosti u kontroli nakon 120-časovnog tretmana. Inhibicija aktivnosti zabeležena je i za gvajakol-peroksidazu za oba vodena rastvora



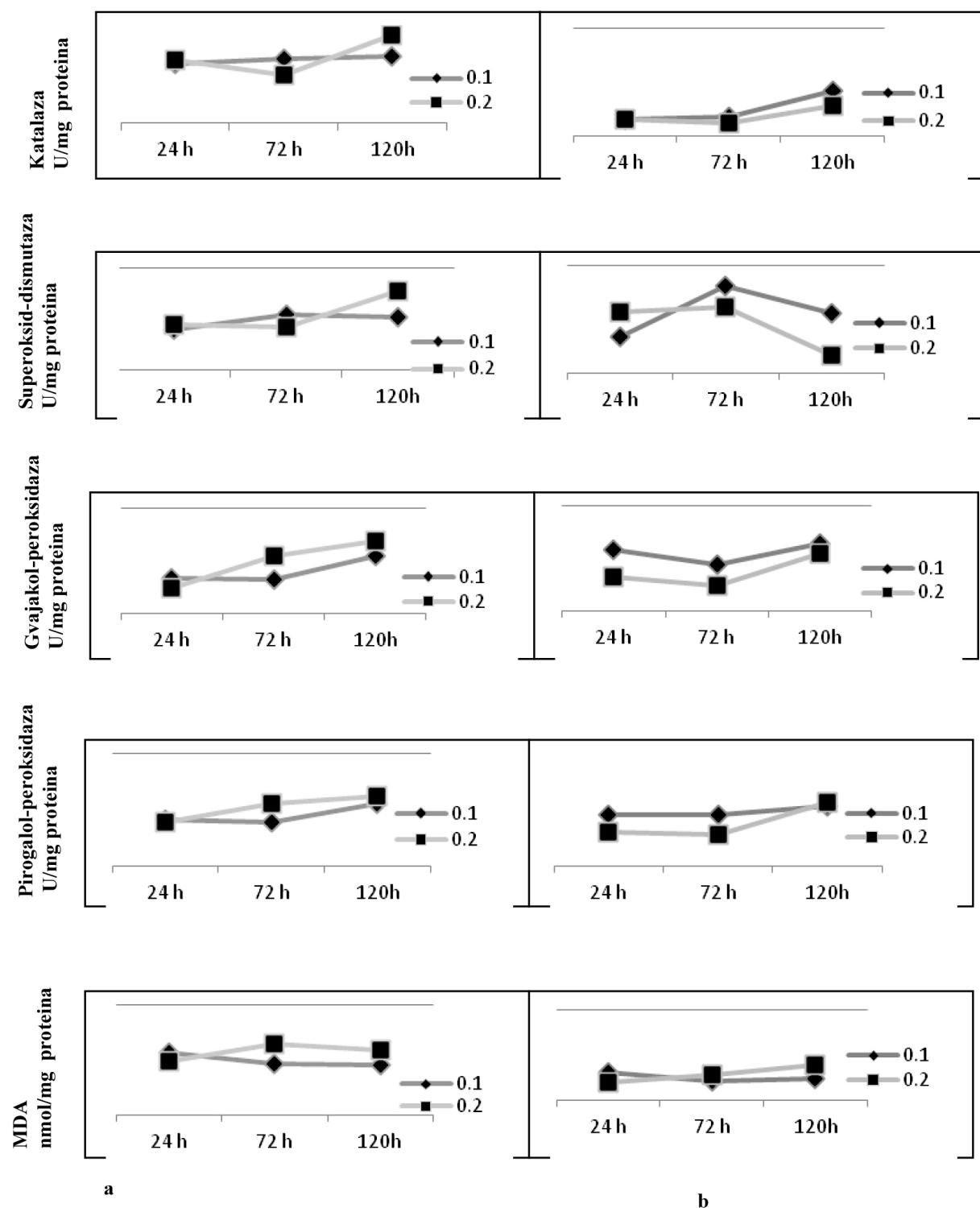
Grafikon 15. Uticaj vodenog rastvora *C. menthifolium* (0,1% i 0,2%) na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu (a) i korenju (b) klasače (Šućur, 2015).

Na aktivnost pirogalol-peroksidaze veći uticaj je imao 0,2%-ni voden rastvor koji je doveo do inhibicije aktivnosti pomenutog enzima nakon 120-časovnog tretmana (Grafikon 15.) (Šućur i sar., 2019).

Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu i korenu paprike

Pod uticajem vodenih rastvora *C. menthifolium* aktivnost katalaze se statistički značajno povećala u listovima i korenu paprike nakon 120-časovnog tretmana, pri čemu je 0,2%-ni voden rastvor doveo do većeg povećanja aktivnosti ovog enzima antioksidativne zaštite. Ista promena aktivnosti zabeležena je i za superoksid-dismutazu u listovima paprike, dok je u korenu došlo do inhibicije superoksidazne aktivnosti nakon 120-časovnog tretmana. Inhibicija aktivnosti gvajakol- i pirogalol-peroksidaze je izmerena u listovima paprike nakon 24-časovnog tretmana pod uticajem oba ispitivana vodena rastvora. Međutim, nakon 120-časovno tretmana zabeležen je statistički značajan porast aktivnosti ovih enzima. Sadržaj izmerenog malondialdehida povećao se u listovima paprike tretirane 0,2%-nim vodenim rastvorom *C. menthifolium* nakon 72-časovnog i 120-časovnog tretmana, dok u tretmanu blažim rastvorom (0,1%) nije došlo da statistički značajne promene u sadržaju malondialdehida.

U korenu paprike tretirane 0,1%-nim vodenim rastvorom *C. menthifolium*, zabeležen je pad aktivnosti enzima gvajakol- i pirogalol-peroksidaze nakon 24-časovnog i 72-časovnog tretmana. U tretmanu 0,2%-nim vodenim rastvorom *C. menthifolium* inhibicija navedenih enzima je zabeležena nakon 24-časovnog i 72-časovnog tretmana. Porast aktivnosti uočen je nakon 120-časovnog tretmana, kada je zabeležena veća aktivnost enzima pirogalol-peroksidaze u tretiranom korenu paprike u odnosu na izmerenu aktivnost u korenu kontrolne grupe biljaka, dok se izmerena aktivnost gvajakol-peroksidaze nije statistički značajno razlikovala u odnosu na izmerene vrednosti u kontrolnoj grupi biljaka.



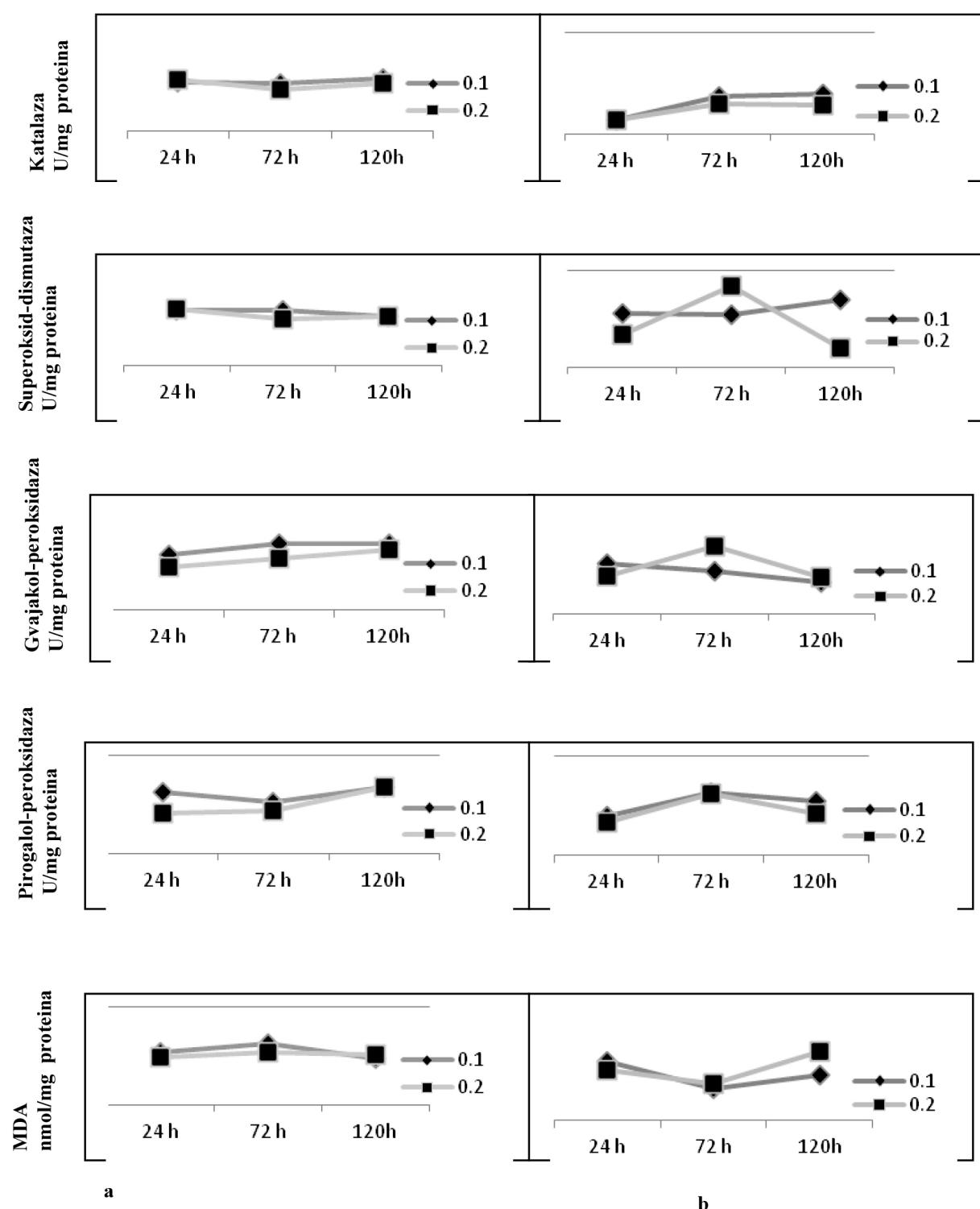
Grafikon 16. Uticaj vodenog rastvora *C. mentholifolium* (0,1% i 0,2%) na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu (a) i korenu (b) paprike (Šućur, 2015).

Tretman 0,1%-nim vodenim rastvorom *C. menthifolium* izazvao je statistički značajan porast aktivnosti superoksid-dismutaze nakon 72-časovnog i 120-časovnog tretmana, dok je u tretmanu 0,2%-nim rastvorom zabeležen porast aktivnosti nakon 24-časovnog i 72-časovnog tretmana, a nakon 120-časovnog tretmana je zabeležena inhibicija aktivnosti superoksid-dismutaze. Statistički značajne promene u sadržaju malondialdehida uočene su u tretmanu 0,2%-nim vodenim rastvorom nakon 72-časovnog i 120-časovnog tretmana (Grafikon 16.) (Šućur i sar., 2017 a).

Aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu i korenju soje

U listovima soje, pod uticajem vodenog rastvora *C. menthifolium*, nije došlo do statistički značajnih promena u aktivnosti enzima katalaze i pirogalol-peroksidaze. Aktivnost superoksid-dismutaze je bila povećana u odnosu na izmerenu aktivnost u kontrolnoj grupi nakon 24-časovnog tretmana, nakon čega je došlo do izjednačavanja aktivnosti superoksid-dismutaze u listovima tretiranih i netretiranih biljaka. Tretman 0,1%-nim vodenim rastvorom *C. menthifolium* izazvao je statistički značajan porast aktivnosti gvajakol-peroksidaze nakon 72-časovnog i 120-časovnog tretmana. Do akumulacije malondialdehida došlo je nakon 72-časovnog tretmana, dok nakon 120-časovnog tretmana nije bilo statistički značajne razlike u izmerenom sadržaju malondialdehida između tretiranih i kontrolnih biljaka.

U korenju soje statistički značajan porast aktivnosti katalaze zabeležen je u tretmanu 0,1%-nim vodenim rastvorom *C. menthifolium*, nakon 120-časovnog tretmana. Praćenjem aktivnosti superoksid-dismutaze uočava se pad aktivnosti ovog enzima nakon 120-časovnog tretmana 0,2%-nim vodenim rastvorom *C. menthifolium*. Nakon 120-časovnog tretmana vodenim rastvorom *C. menthifolium* (0,1% i 0,2%) su doveli do inhibicije aktivnosti gvajakol-peroksidaze. Pri tretmanu 0,1%-nim vodenim rastvorom aktivnost ovog enzima je bila tri puta niža u odnosu na izmerene vrednosti u kontrolnoj grupi biljaka.



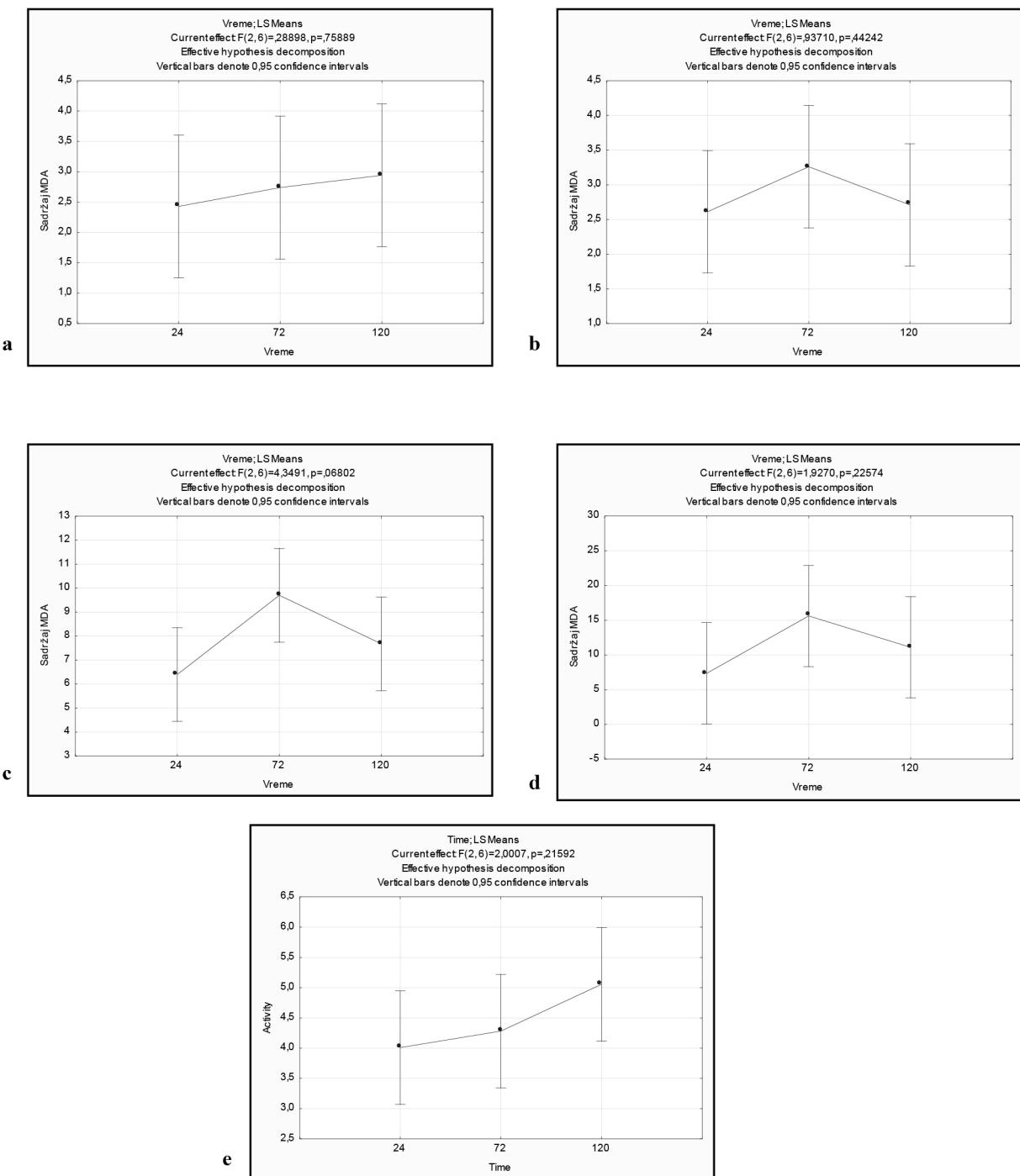
Grafikon 17. Uticaj vodenog rastvora *C. menthifolium* (0,1% i 0,2%) na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj MDA u listu (a) i korenu (b) soje (Šućur, 2015).

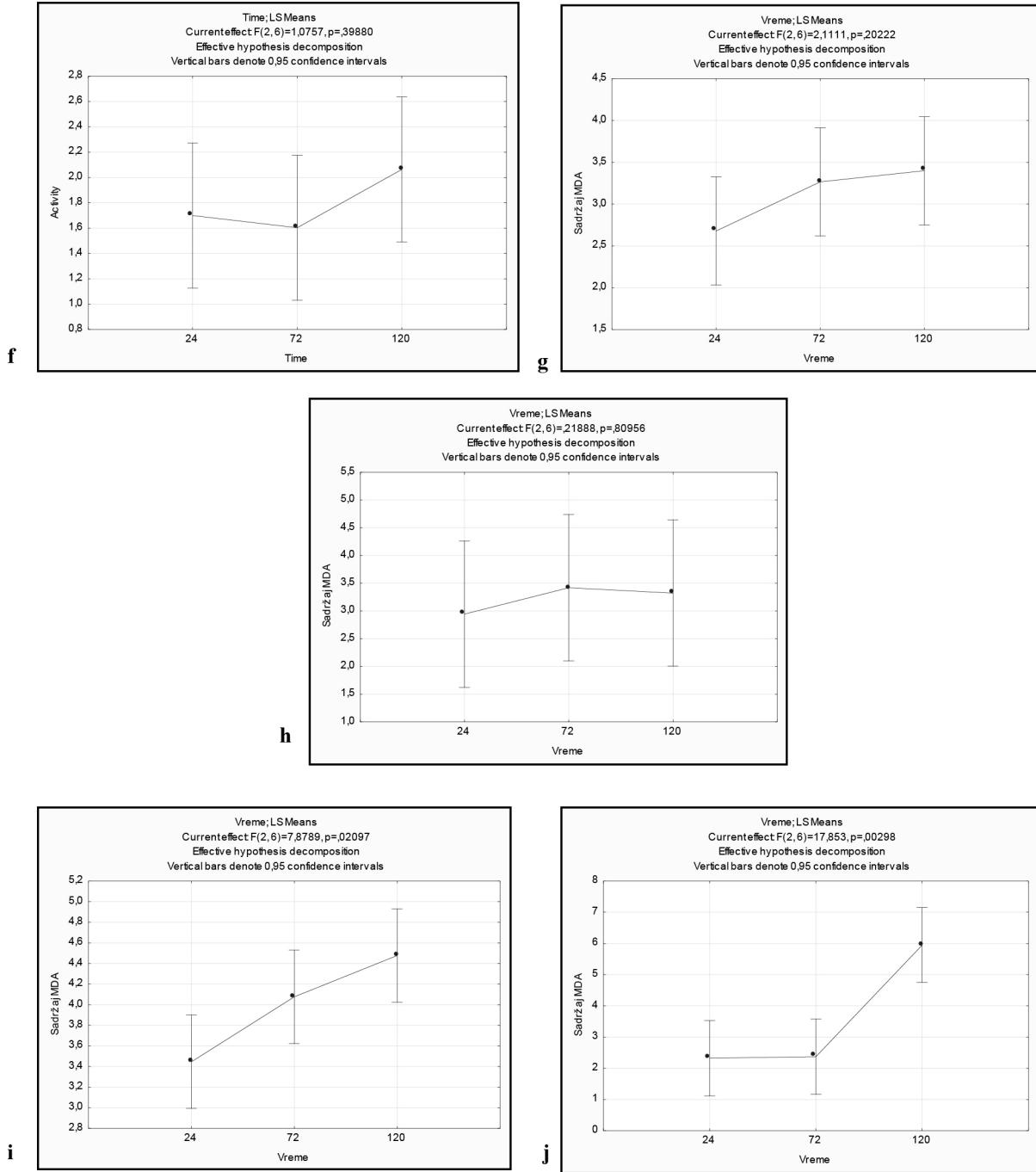
Na aktivnost pirogalol-peroksidaze veći uticaj je imao 0,2%-ni voden rastvor koji je doveo do statistički značajne inhibicije aktivnosti nakon 120-časovnog tretmana. Značajan porast intenziteta lipidne peroksidacije zabeležen je u korenju soje tretirane 0,2%-nim vodenim rastvorom nakon 120-časovnog tretmana.

Oba primenjena vodena rastvora *C. menthifolium* (0,1% i 0,2%) su dovela do akumulacije malondialdehida u korenju crne pomoćnice i tatule. Veći sadržaj malondialdehida zabeležen je u korenju tatule što je ukazivalo na njenu manju otpornost prema vodenom rastvoru *C. menthifolium* u poređenju sa crnom pomoćnicom. Voden rastvor *C. menthifolium* je ispoljio isti efekat na crnu pomoćnicu i tatulu kao i voden rastvor *S. montana*. Iako se koren tatule pokazao kao najosetljiviji prema vodenom rastvoru *C. menthifolium*, gde je sadržaj izmerenog malondialdehida dostizao i do tri puta veće vrednosti u odnosu na izmerene vrednosti u kontrolnoj grupi, u listovima nije došlo do statistički značajne razlike. Na osnovu toga se može zaključiti da različita tkiva iste biljke, a naročito dve različite biljne vrste, aktiviraju različite komponente antioksidativnog sistema zaštite i u različitoj meri prilikom dejstva istog stresora, što je u skladu sa literurnim podacima (Dmitrović, 2012). Kod gajenih biljaka, povećan sadržaj malondialdehida zabeležen je samo u korenju biljaka tretiranih 0,2%-nim vodenim rastvorom *C. menthifolium* nakon 120-časovnog tretmana, dok u tretmanu 0,1%-nim vodenim rastvorom nije došlo do ikakvih statistički značajnih promena u sadržaju malondialdehida (Grafikon 17.) (Šućur i sar., 2016 a).

Praćenjem sadržaja malondialdehida tokom trajanja eksperimenta, uočavalo se da je sadržaj malondialdehida u korenju crne pomoćnice i u listu i korenju tatule najveći nakon 72-časovnog tretmana, dok je u listu crne pomoćnice i listu i korenju klasače i soje najveći sadržaj malondialdehida izmeren na kraju eksperimentalnog perioda, nakon 120-časovnog tretmana (Grafikon 18).

Grafikon 18. Promena sadržaja MDA tokom vremena nakon tretmana vodenim ekstraktom *C. menthifolium* u listu (a) i korenu (b) crne pomoćnice, listu (c) i korenu (d) tatule, listu (e) i korenu (f) klasače, listu (g) i korenu (h) paprike, listu (i) i korenu (j) soje.





Na osnovu dobijenih rezultata može se uočiti da su vodeni rastvori ispitivanih samoniklih biljaka *S. montana*, *C. menthifolium* i *S. sclarea* različito uticali na aktivnost antioksidativnih enzima i sadržaj malondialdehida u listovima i korenju tretiranih test-biljaka.

Primenjeni vodeni rastvori *S. montana*, *C. menthifolium* i *S. sclarea* u koncentracijama 0,1% i 0,2%, uglavnom su dovodili do povećane aktivnosti superoksid-dismutaze u listovima i korenju tretiranih biljaka, naročito nakon 120-časovnog tretmana. Izuzetak je bio voden rastvor *S. sclarea*, jer je utvrđeno da je u listovima i korenju tamule i paprike koji su izloženi dejstvu vodenog rastvora ove biljke dolazilo do inhibicije aktivnosti superoksid-dismutaze. Prepostavka je da su sekundarni biomolekuli, prisutni u vodenim rastvorima koji deluju kao alelohemikalije, doveli do povećanja koncentracije ROS u tkivima lista i korenja tretiranih test biljaka, što je dalje uslovilo povećanu aktivnost enzima superoksid-dismutaze. Ovi rezultati su u skladu sa istraživanjima Haddadchi i Gerivani (2009), koji su pokazali da fenolni ekstrakt korenja uljane repice (*Brassica napus* L.) povećava aktivnost enzima superoksid-dismutaze i peroksidaze u korenju ponika soje.

Peroksidazna aktivnost nakon 120-časovnog tretmana vodenim rastvorima *S. montana* i *S. sclarea* je bila ista ili niža u odnosu na izmerenu aktivnost u kontrolnoj grupi test biljaka. Nasuprot tome, voden rastvor *C. menthifolium* je izazvao povećanje aktivnosti pirogalol-peroksidaze i gvajakol-peroksidaze u listu i korenju crne pomoćnice, tamule i paprike.

Za razliku od drugih ispitivanih biljaka, aktivnost katalaze u korenju soje tretiranog vodenim rastvorima biljaka *S. montana* i *S. sclarea* je bila ista kao i u kontroli nakon 120-časovnog tretmana. To je u skladu sa istraživanjima Haddadchi i Gerivani (2009), koji su pokazali da ekstrakti uljane repice ne utiču na aktivnost katalaze u korenčićima soje.

Ukoliko se izuzmu rezultati dobijeni za klasaču, može se zaključiti da voden rastvori *S. montana* i *C. menthifolium* poseduju alelopatski potencijal prema tretiranim korovima. Međutim, neophodna su dalja istraživanja da bi se

utvrdilo da li ispoljavaju herbicidno dejstvo. Pokazano je da se kao prirodni herbicidi mogu koristiti vodeni ekstrakti šećerne trske i suncokreta (Soltys i sar., 2013). Alelopatija, i upotreba alelohemikalija, ima izuzetan potencijal kao komponenta ukupne strategije u borbi protiv korova, a takođe i kao značajan korak u razvoju održivih sistema poljoprivrede sa smanjenom upotrebom sintetičkih herbicida (Kovačević i Momirović, 2000). Kombinovanjem biljnih ekstrakata sa manjom koncentracijom sintetičkih herbicida postiže se mnogo bolja kontrola rasta korova nego primenom propisane doze čistog sintetičkog herbicida (Farooq i sar., 2011).

6. Insekticidno dejstvo vodenih rastvora i etarskih ulja samoniklih biljaka

Samonikle biljke predstavljaju bogat izvor potencijalnih prirodnih pesticida, posebno insekticida (Fakoorziba i sar., 2014). Veliku pažnju istraživača privlače ekstrakti biljaka kao ekološki prihvatljiva alternativa za suzbijanje štetočina (Nguyen i sar., 2013).

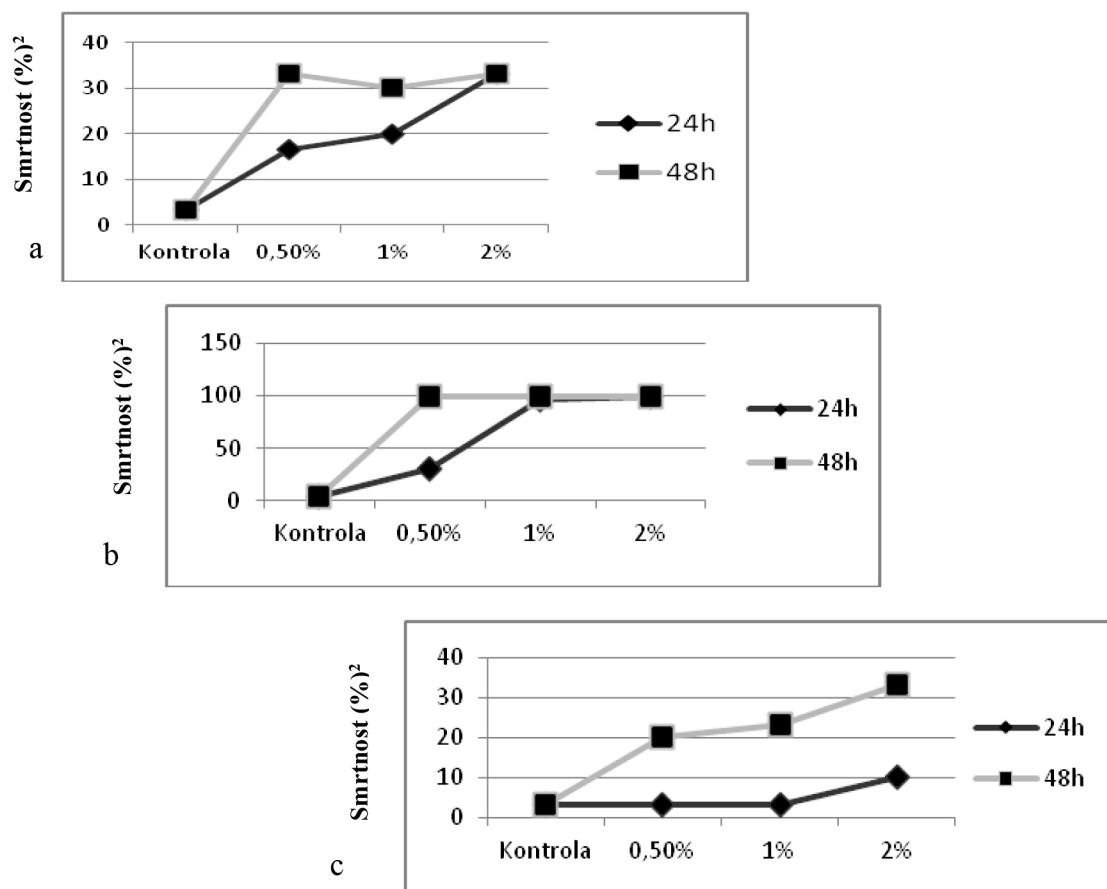
Radi utvrđivanja potencijala samoniklih biljaka u suzbijanju štetočina ispitana je biološka aktivnost vodenih rastvora odabranih biljaka familije Lamiaceae – *S. montana*, *S. sclarea* i *C. menthifolium*, prema odraslim jedinkama žitnog kukuljičara (*Rhyzopertha dominica* Fabricius) i bele leptiraste vaši (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood), kao i insekticidni potencijal etarskih ulja istih biljaka na odraslim jedinkama kestenjastog brašnara (*Tribolium castaneum* Herbst) i pirinčanog žiška (*Sitophilus oryzae* Linnaeus).

6.1. Insekticidno dejstvo vodenih rastvora *S. montana*, *S. sclarea* i *C. menthifolium* na odrasle jedinke žitnog kukuljičara

Žitni kukuljičar, *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera: Bostrichidae) je primarna skladišna štetočina, koja nanosi velike štete uskladištenim zrnima žitarica (pšenice, kukuruza, ječma, pirinča, pasulja), a može se razvijati i u brašnu (Oppert i Morgan, 2013). Napada i suve proizvode niske vlažnosti, te se ni sušenjem ne može spričiti njegova pojava i razmnožavanje.

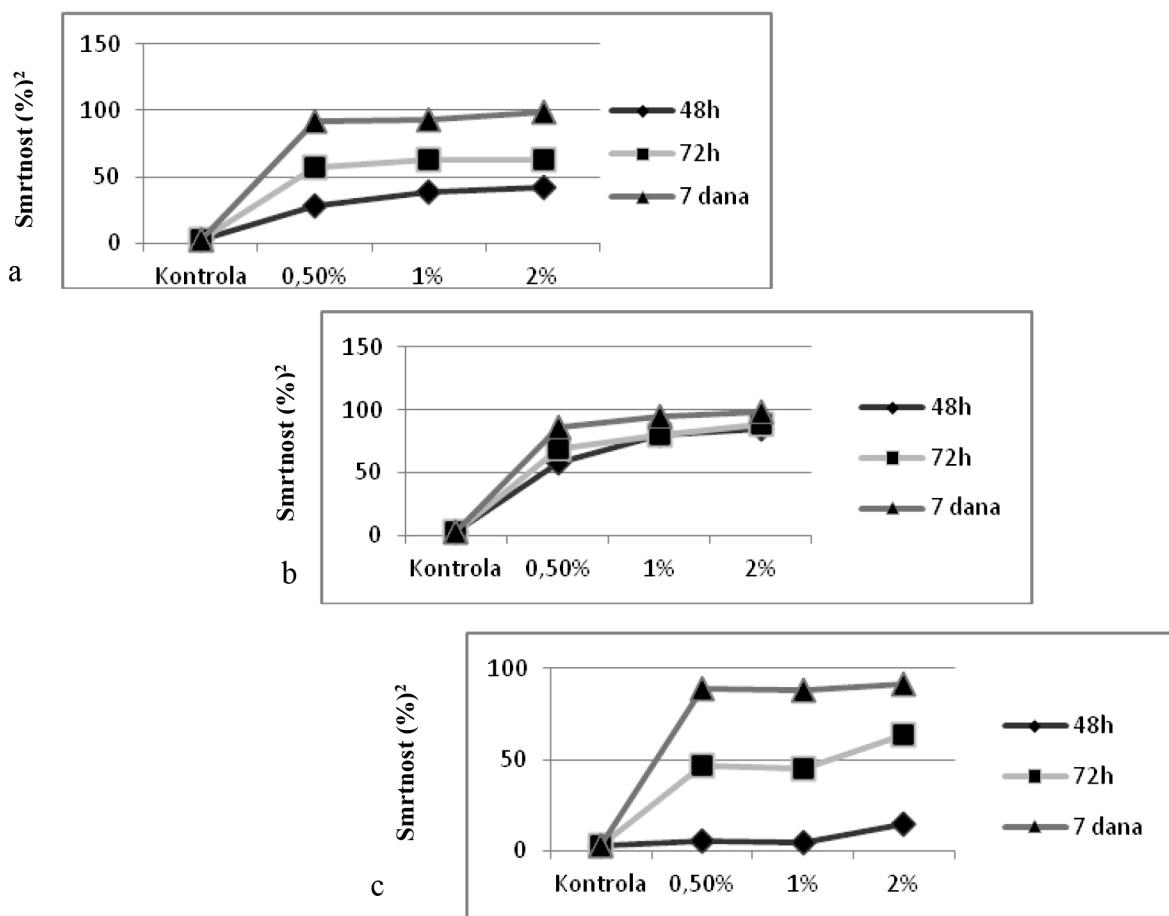
Efekat vodenih rastvora biljaka *S. montana*, *S. Sclarea* i *C. menthifolium* u koncentracijama 0,5%, 1% i 2% na intenzitet ishrane i mortalitet odraslih jedinki žitnog kukuljičara ispitana je primenom biotesta za kontaktno (nanošenjem na staklenu površinu) i kontaktno-digestivno dejstvo (nanošenjem na zrno pšenice).

U testu kontaktnog dejstva vodenih rastvora *S. montana*, *S. sclarea* i *C. menthifolium* na odrasle jedinke žitnog kukuljičara (Grafikon 19.), nakon 24-časovne kontaktne ekspozicije, najjači insekticidni efekat ispoljili su 1%-ni i 2%-ni vodeni rastvori *S. sclarea*, koji su izazvali smrtnost preko 95% tretirane populacije. Smrtnost od 20–30% postignuta je u tretmanu istim koncentracijama vodenog rastvora *S. montana* (1% i 2%), dok je najmanju aktivnost, pri istim koncentracijama, ispoljio vodeni rastvor *C. menthifolium* (2%-ni rastvor prouzrokovao je smrtnost od 10%).



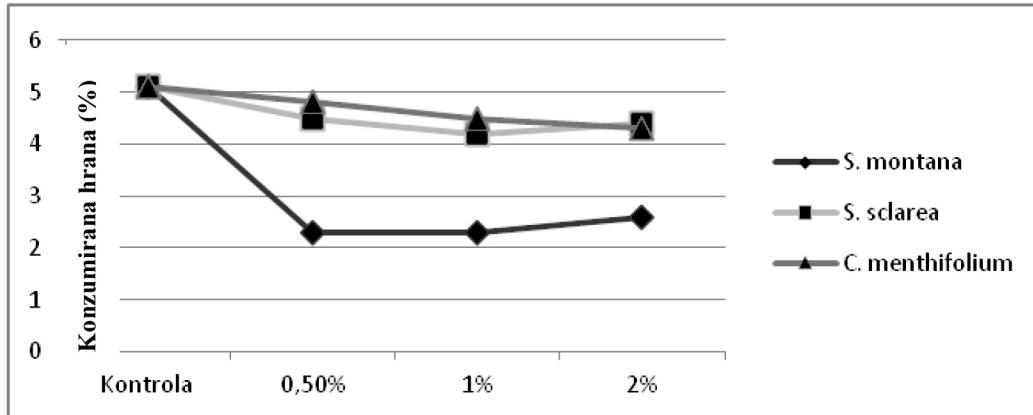
Grafikon 19. Smrtnost odraslih jedinki žitnog kukuljičara tretiranih vodenim rastvorima *S. montana* (a), *S. sclarea* (b) i *C. menthifolium* (c) nakon 24-časovne i 48-časovne kontaktne ekspozicije (Šućur, 2015).

Nakon 48-časovne kontaktne ekspozicije vodenim rastvorom *S. Sclarea*, u sve tri primjenjene koncentracije, prouzrokovao je smrtnost odraslih jedinki žitnog kukuljičara od 100%. Vodenim rastvori *S. montana* i *C. menthifolium*, iako su ispoljili nižu biološku aktivnost u poređenju sa vodenim rastvorom *S. sclarea*, doveli su do statistički značajno višeg mortaliteta nakon 48-časovne ekspozicije (2%-ni rastvor prouzrokovao je smrtnost nešto višu od 30%) u poređenju sa kontrolom gde je smrtnost bila niska (3,4%), nego što je bio slučaj nakon 24-časovne kontaktne ekspozicije.



Grafikon 20. Smrtnost odraslih jedinki žitnog kukuljičara tretiranih vodenim rastvorima *S. montana* (a), *S. sclarea* (b) i *C. menthifolium* (c) nakon 48-časovne, 72-časovne i 7-dnevne kontaktno-digestivne ekspozicije (Šućur, 2015).

U testu kontaktno-digestivnog dejstva vodenih rastvora *S. montana*, *C. menthifolium* i *S. sclarea* na odrasle jedinke žitnog kukuljičara, nezavisno od vremena ekspozicije (48 h, 72 h i 7 dana), statistički najvišu smrtnost u poređenju sa kontrolom (2,7%) izazvao je vodeni rastvor *S. sclarea* primenjen u sve tri koncentracije (86,5–98,5% nakon 7-dnevne ekspozicije) (Grafikon 20.). Već nakon 48-časovne kontaktno-digestivne ekspozicije, rastvor *S. sclarea* doveo je do mortaliteta koji je bio statistički značajno veći u poređenju sa mortalitetom prouzrokovanim rastvorima druge dve biljke (58,3–85,5%). Nakon 72-časovne kontaktno-digestivne ekspozicije, stopa smrtnosti se povećala i u tretmanima rastvorima druge dve biljke, međutim, i dalje je bila najviša u tretmanima vodenim rastvorima *S. sclarea* (68,5–88,5%). Nakon 7-dnevne kontaktno-digestivne ekspozicije, rastvori svih biljaka nezavisno od primenjenjenih koncentracija su ispoljili zadovoljavajući insekticidni efekat i izazvali mortalitet koji se kretao od 86,5% do 98,5%.



Grafikon 21. Konzumirana hrana nakon 7 dana zavisno od primenjenih vodenih rastvora (Šućur, 2015).

Nakon 7-dnevne kontaktno-digestivne ekspozicije, merena je i količina konzumiranog zrna pšenice (Grafikon 21.). Dobijeni rezultati su pokazali da u poređenju sa kontrolom, gde je pojedeno 5,1% od ponuđene hrane, statistički je značajno manje hrane konzumirano u tretmanima vodenim rastvorom *S. montana*, nezavisno od primenjene koncentracije (nešto više od 2%). Nasuprot

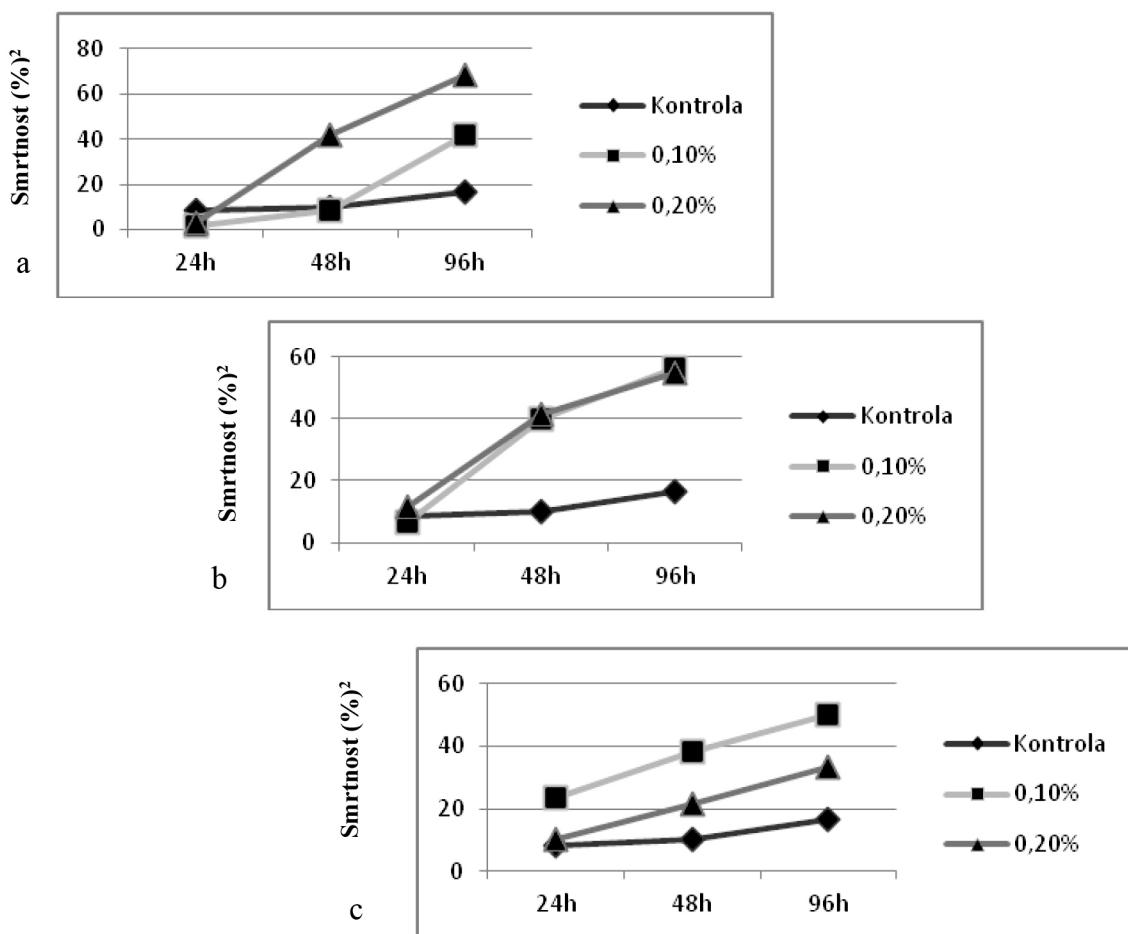
tome, druge dve biljne vrste nisu izazvale značajno smanjenje ishrane (4,2–4,8%).

Na osnovu dobijenih rezultata primećeno je da u testu kontaktne toksičnosti 0,5%-ni i 1%-ni voden i rastvori *C. menthifolium* nisu ispoljili insekticidni efekat, jer se ni smrtnost odraslih jedinki žitnog kukuljičara nije statistički značajno razlikovala od smrtnosti u kontrolnom tretmanu. Međutim, 2%-ni voden rastvor *C. menthifolium*, kao i svi voden rastvori *S. montana*, ispoljili su nakon 48-časovne eksponacije slabiji toksični efekat. Najveću smrtnost odraslih jedinki žitnog kukuljičara u testu kontaktne toksičnosti uzrokovali su primjenjeni voden rastvori *S. sclarea* već nakon 48-časovne eksponacije. Nakon 48-časovne i 72-časovne kontaktno-digestivne eksponacije, najjače insekticidno dejstvo je ispoljio voden rastvor *S. sclarea* primjenjen u sve tri koncentracije (0,5%, 1% i 2%). Nakon 7-dnevne eksponacije, svi primjenjeni rastvori, u svim koncentracijama, su izazvali izuzetno visoku smrtnost, te se smatra da su imali izraženo insekticidno dejstvo (Šućur i sar., 2016 a; Gvozdenac i sar., 2018).

6.2. Insekticidno dejstvo vodenih rastvora *S. montana*, *S. sclarea* i *C. menthifolium* na odrasle jedinke bele leptiraste vaši

Bela leptirasta vaš, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Homoptera: Aleurodidae), predstavlja značajan problem u povrtarskoj proizvodnji širom sveta. Kao posledica ishrane jedinki (sisajući sokove), biljke slabe i postaju podložne napadu bolesti (Marčić i sar., 2011). Životni ciklus bele leptiraste vaši i preklapanje generacija je najveći problem u suzbijanju ovog insekta, tako da se na jednom listu istovremeno mogu naći svi razvojni oblici.

Rezultati ispitivanja insekticidne aktivnosti vodenih rastvora *S. montana*, *S. sclarea* i *C. menthifolium* na odrasle jedinke bele leptiraste vaši prikazani su na Grafikonu 22. Najjači toksični efekat ispoljio je 0,2%-ni voden rastvor *S. montana* sa stopom smrtnosti od 68,33%, nakon 96-časovne ekspozicije. Oba primjenjena vodena rastvora *S. sclarea* (0,1% i 0,2%) su nakon 96-časovne ekspozicije prouzrokovala smrtnost preko 50% jedinki. Najmanju aktivnost su ispoljili primjenjeni vodeni rastvori *C. menthifolium* (Šućur i sar., 2015 a; Šućur i sar., 2015 b; Šućur i sar., 2017 a).



Grafikon 22. Smrtnost odraslih jedinki bele leptiraste vaši tretiranih vodenim rastvorima *S. montana* (a), *S. sclarea* (b) i *C. menthifolium* (c) koncentracija 0,1% i 0,2% (Šućur, 2015).

Na osnovu prikazanih rezultata ispitivanja uticaja vodenih rastvora *S. montana*, *S. sclarea* i *C. menthifolium* na odrasle jedinke bele leptiraste vaši i žitnog kukuljičara utvrđen je insekticidni efekat vodenih rastvora ispitivanih biljaka. U testu kontaktnog dejstva na odrasle jedinke žitnog kukuljičara najjači toksični efekat je ispoljio voden rastvor *S. sclarea*, sa stopom smrtnosti preko 95% nakon 24-časovne kontaktne ekspozicije. U testu kontaktno-digestivnog dejstva na odrasle jedinke žitnog kukuljičara najjači insekticidni efekat je ispoljio voden rastvor *S. sclarea* prouzrokujući smrtnost u intervalu od 56,7–98,5%, u zavisnosti od primenjene koncentracije. Na odrasle jedinke bele leptiraste vaši najjači toksični efekat ispoljio je voden rastvor *S. montana*, prouzrokujući stopu smrtnosti od preko 60%.

Razlika u ispoljenoj insekticidnoj aktivnosti vodenih rastvora mogla bi se objasniti prisustvom različitih biološki aktivnih jedinjenja u vodenim rastvorima. Voden rastvori *S. montana* i *S. sclarea*, koji su ispoljili jaču insekticidnu aktivnost, sadrže u većoj količini kafenu kiselinu u poređenju sa ostalim kvantifikovanim jedinjenjima (*S. montana* – 78,17 µg/g; *S. sclarea* – 65,78 µg/g), koja je u vodenom rastvoru *C. menthifolium* znatno manje prisutna (13,87 µg/g). Dokazano je da kafena kiselina poseduje insekticidnu aktivnost (Harrison i sar., 2003; Pabela i sar., 2009). Smatra se da je važan deo odbrambenog mehanizma biljaka protiv mikroorganizama, insekata i drugih predatora (Harrison i sar., 2003). Pabela i sar. (2009), smatraju da je prisustvo kafene kiseline u *Impatiens parviflora* razlog insekticidne aktivnosti ove biljke na zelenu lisnu vaš. Ekstrakti *S. sclarea* deluju repellentno na kućne muve (Fakoorziba i sar., 2014) i inhibitorno na rast gljivica (Dellavalle i sar., 2011). Rezultati drugih autora takođe ukazuju na potencijalnu upotrebu vodenih ekstrakata samoniklih biljaka u suzbijanju bele leptiraste vaši (Dehghani i Ahmadi, 2013). Fenoli predstavljaju jednu od najaktivnijih grupa alelohemikalija koje utiču na rast, razvoj i ponašanje leptiraste vaši (Wójcicka, 2010).

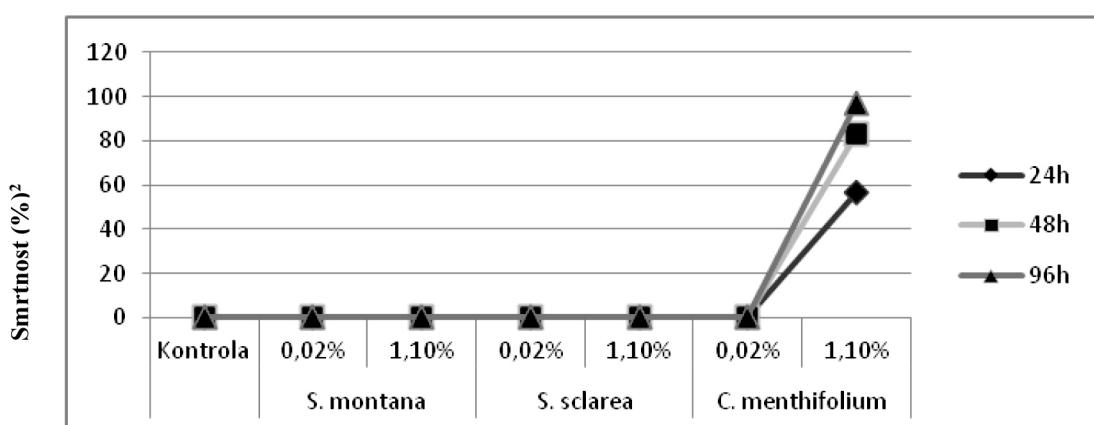
6.3. Insekticidno dejstvo etarskih ulja *S. montana*, *S. sclarea* i *C. menthifolium* na adulte kestenjastog brašnara i pirinčanog žiška

Kestenjasti brašnar, *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) je jedna od najzastupljenijih vrsta štetočina uskladištenih proizvoda i uskladištenih zrna na svetu (Sinha i Watters, 1985). Široko je rasprostranjen, tako da se može naći u skladištima, mlinovima i magacinima brašna (Garcia i sar., 2005; Jemaa i sar., 2012). U skladištima žitarica, od velikih silosa pa do tavana individualnog proizvođača, nalazi se i pirinčani žižak, *Sitophilus oryzae* (Linnaeus). Za zaštitu uskladištenih žitarica od skladišnih insekata koriste se kontaktni insekticidi. Poznato je da je ograničavajući faktor primene kontaktnih insekticida pojava rezistentnosti (smanjenja osetljivosti) insekata, tako da se usled izostanka efekata suzbijanja povećavaju primenjene doze, što dovodi do negativnog uticaja na kvalitet hrane, zdravlje ljudi i životnu sredinu (Subramanyam i Hagstrum, 1995; White i Leesch, 1995). Po potencijalu razvoja rezistentnosti na insekticide kestenjasti brašnar je svrstan u prvu kategoriju (Andrić, 2012).

Egarska ulja, za koja se veruje da pored ostalog štite biljku od insekata i parazita (Simpson, 1995), smatraju se i potencijalnim izvorom prirodnih insekticida (Singh i Upadhyay, 1993). Za etarska ulja nekih začina, npr. anisa (*Pimpinella anisum* L.) i nane (*Mentha piperita* L.), pokazano je da imaju fumigantni efekat na odrasle jedinke kestenjastog brašnara (*T. castaneum*) (Shaaya i sar., 1991). Etarska ulja belog luka i semena muskatnog oraščića deluju insekticidno na kestenjastog brašnara (Ho i sar., 1996; Huang i sar., 1997).

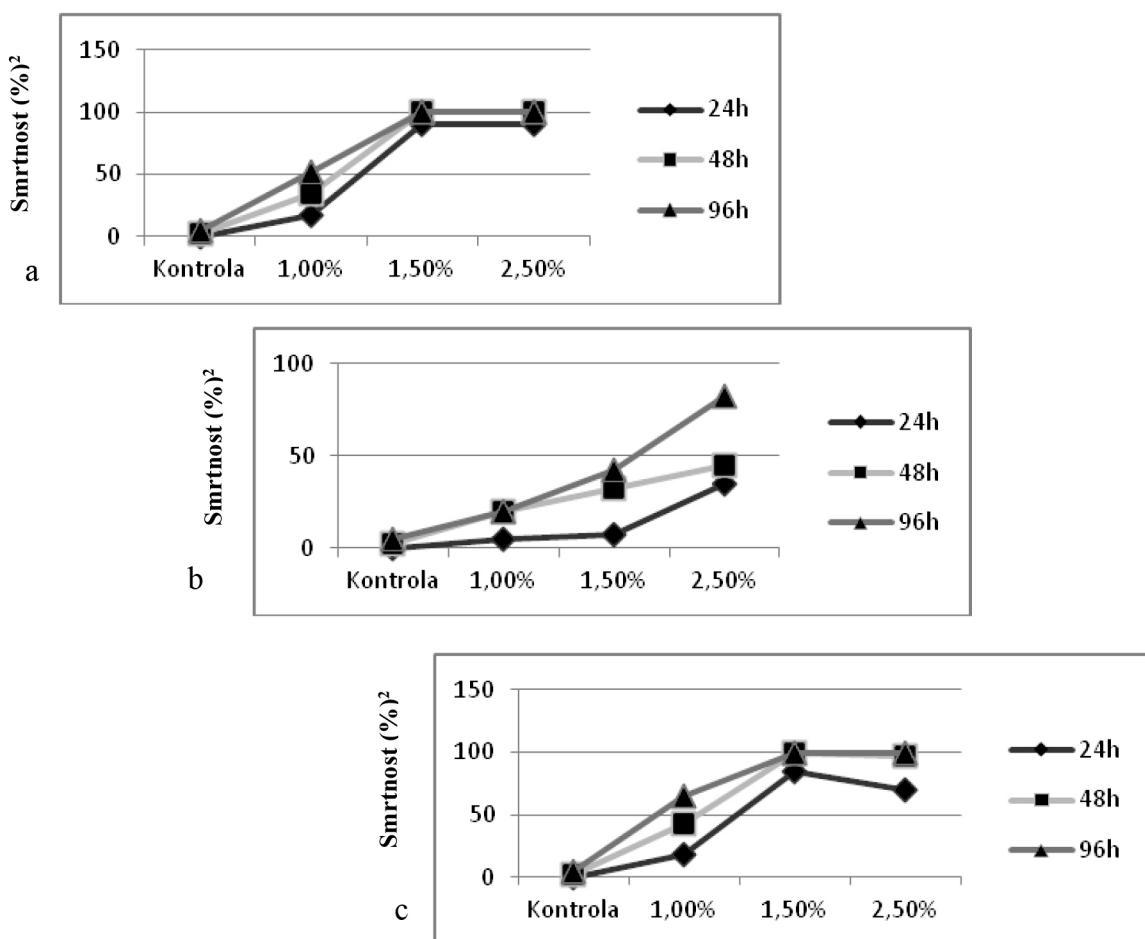
Sa ciljem da se proširi izbor prirodnih jedinjenja sa insekticidnim delovanjem, kao i da se prevaziđe problem rezistentnosti, ispitani su efekti etarskih ulja odabranih samoniklih biljaka familije Lamiaceae na adulte kestenjastog brašnara i pirinčanog žiška.

Pri ispitivanju toksičnog efekta etarskih ulja na adulte kestenjastog brašnara značajan efekat postignut je jedino u tretmanu etarskim uljem *C. menthifolium* pri koncentraciji od 1,1%. Visoka smrtnost od 56,67% postignuta je već nakon 24-časovnog tretiranja dok je posle 48-časovnog tretiranja iznosila 83,33%. U kontroli su svi insekti preživeli, tj. smrtnost je iznosila 0%. Niža koncentracija od 0,02% etarskih ulja ispitivanih biljaka nije uzrokovala uginuće odraslih insekata kestenjastog brašnara (Popović i sar., 2013).



Grafikon 23. Smrtnost odraslih insekata kestenjastog brašnara nakon 4-dnevnog tretiraja poznatim koncentracijama (0,02%, 1,10%) etarskih ulja odabralih biljnih vrsta (Šućur, 2015).

Egarska ulja *S. montana* i *C. menthifolium* ispoljila su značajan kontaktni efekat na adulte pirinčanog žiška. Nakon 24-časovnog tretiranja etarskim uljem *S. montana* u koncentracijama od 1,5% i 2,5% zabeležena je smrtnost jedinki od 90%, dok je nakon 48-časovnog tretiranja postignuto 100% uginuće. Stopa smrtnosti bila je nešto niža u tretmanu istim koncentracijama etarskog ulja *C. menthifolium* (1,5% i 2,5%) nakon 24-časovnog tretiranja. Nakon 48-časovnog tretiranja postignuto je 100% uginuće insekata u tretmanu 1,5%-nim rastvorom. Etarsko ulje *S. sclarea* je ispoljilo slabiji efekat, pri nižim koncentracijama nije postignuta smrtnost preko 50%, dok je za isti efekat u tretmanu sa najvećom primjenjenom koncentracijom bilo potrebno 96-časovno tretiranje.



Grafikon 24. Smrtnost odraslih insekata pirinčanog žiška nakon 4-dnevног tretiraja poznatim koncentracijama (1,0 %, 1,5%, 2,5%) etarskih ulja *S. montana* (a), *S. sclarea* (b) i *C. menthifolium* (c) (Šućur, 2015).

GC-MS analizom etarskih ulja *S. montana*, *C. menthifolium* i *S. sclarea* identifikovana su 43 različita isparljiva jedinjenja. U etarskom ulju *C. menthifolium* i *S. montana* zabeleženo je prisustvo monocikličnog monoterpenskog alkohola karvakrola (79,91% i 50,10%, redom), kao dominantne komponente. Od monocikličnih monoterpena u većim količinama nalaze se *p*-cimen i γ -terpinen, iako su prisutni u mnogo manjoj količini u odnosu na karvakrol u etarskim uljima obe biljke. Od bicikličnih seskviterpena u etarskom ulju *S. montana* dominira kariofilen (8,71%), a od bicikličnih

monoterpena zastupljen je borneol (1,18%). U etarskom ulju *C. menthifolium* od ketonskih komponenti najzastupljeniji su pulegon (1,24%) i *izo*-menton (1,33%). U etarskom ulju *S. sclarea* dominantna komponenta je biciklični diterpenski alkohol sklareol (26,53%). U većim količinama prisutni su kariofilen-oksid i linalool (Šućur, 2015).

Eatarska ulja *C. menthifolium* i *S. montana* su ispoljila insekticidno dejstvo na adulte pirinčanog žiška već nakon 24-časovnog tretiranja, dok je nakon 48-časovnog tretiranja postignuto 100% uginuće. Na adulte kestenjastog brašnara insekticidno dejstvo imalo je etarsko ulje *C. menthifolium* sa stopom smrtnosti od 56,67% već nakon 24-časovnog tretiranja. Dakle, jak insekticidni efekat na adulte kestenjastog brašnara i pirinčanog žiška pokazalo je etarsko ulje biljke *C. menthifolium*, koje kao dominantnu komponentu sadrži monoterpenski alkohol karvakrol (79,91%), kao i ketonske komponente pulegon i *izo*-menton, koje nisu identifikovane u etarskom ulju druge dve biljke.

Karvakrol predstavlja samo jedan od mnogobrojnih sastojaka etarskih ulja, koji poseduje insekticidni i fumigantni efekat (Ayvaz i sar., 2010). Prema literaturnim podacima, karvakrol deluje insekticidno na bubašvabe (*Periplaneta brunnea* i *Blattella germanica*) sa visokim toksičnim efektom i ima topikalnu primenu kao fumigant (Phillips i Appel, 2010; Phillips i sar., 2010). Smatra se da karvakrol ima jače insekticidno dejstvo nego njegov izomer timol, ali da prisustvo timola pojačava toksični efekat karvakrola (Karpouhtsis i sar., 1998). Korišćenje prirodnih supstanci, kao što su etarska ulja, predstavlja dobru alternativnu, ali i dopunska metodu u kontroli brojnosti insekata.

Upoređivanjem rezultata dobijenih ispitivanjem insekticidne aktivnosti vodenih rastvora i etarskih ulja odabranih biljaka familije Lamiaceae zapaženo je da su primenjene koncentracije vodenog rastvora i etarskog ulja biljke *S. montana* ispoljile insekticidno dejstvo sa visokom stopom smrtnosti. Druge dve biljke su ispoljile različitu aktivnost u zavisnosti od toga u kojoj su formi primenjene (vodeni rastvor ili etarsko ulje). Voden rastvor *S. sclarea* je postigao najveću smrtnost odraslih insekata, za razliku od etarskog ulja iste biljke, koje je pokazalo slabiji efekat u poređenju sa etarskim uljem druge dve biljke. Etarsko ulje biljke *C. menthaefolium* ispoljilo je veći toksični efekat na testirane insekte nego voden rastvor te biljke.

7. Uticaj vodenih rastvora samoniklih biljaka na rast mikroorganizama

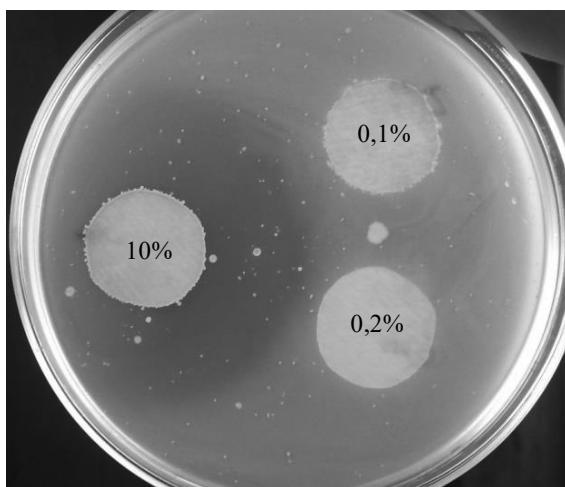
Za ispitivanje uticaja vodenih rastvora herbi biljaka *S. montana*, *S. sclarea* i *C. menthifolium*, na rast i razmnožavanje bakterija i gljivica primenjena je disk-difuziona metoda (Prabuseenivasan i sar., 2006). U radu su korišćeni bakterijski sojevi i gljivice iz kolekcije laboratorije za Mikrobiologiju, Departmana za ratarstvo i povrtarstvo Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu (Tabela 6).

Tabela 6. Bakterijski sojevi i gljivice korišćeni u radu.

<i>Azotobacter ritska crnica</i> 2
<i>Azotobacter pseudoglej</i> 1
<i>Azotobacter černozem</i>
<i>Pseudomonas Violeta</i>
<i>Pseudomonas Dragana</i>
<i>Pseudomonas marker</i>
<i>Bacillus subtilis marker</i> 44
<i>Bacillus subtilis Violeta</i>
<i>Bacillus megaterium</i> 2
<i>Rhizobium bradyrhizobium japoniku S511</i> (soja)
<i>Rhizobium D₁</i> (grašak)
<i>Rhizobium trifolii</i> 1 (detelina)
<i>Actinomycete</i> 10
<i>Actinomycete</i> 9K
<i>Actinomycete</i> 5
<i>Penicillium</i> sp
<i>Alternarium</i> sp
<i>Trichoderma asperellum</i>

Rezultati disk-difuzionog testa primjenjenih 0,1%-nih, 0,2%-nih i 10%-nih vodenih rastvora odabranih biljaka, kao i bakterijski sojevi i gljivice na kojima je vršeno ispitivanje, prikazani su u Tabeli 7. za voden rastvor *S. montana*, Tabeli 8. za voden rastvor *C. menthifolium* i Tabeli 9. za voden rastvor *S. sclarea*.

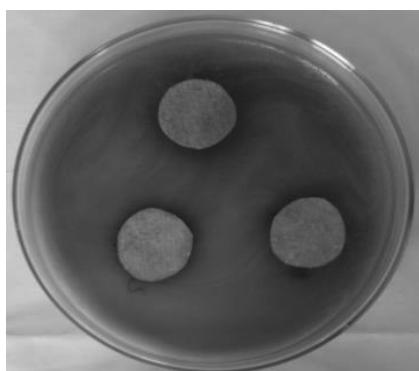
Dobijeni rezultati su pokazali da voden rastvori odabranih biljaka familije Lamiaceae ne ispoljavaju baktericidno dejstvo. Izuzetak je 10%-ni voden rastvor *S. sclarea*, koji je delovao inhibitorno na rast bakterijskog soja *Pseudomonas marker*, nakon 120-časovnog tretiranja (Slika 28.).



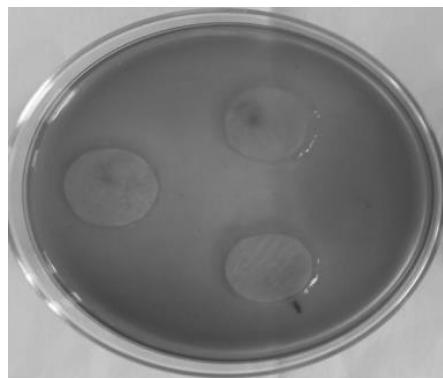
Slika 28. Zona inhibicije rasta bakterijskog soja *Pseudomonas marker* pod uticajem 10%-nog vodenog rastvora *S. sclarea*.

Bakterijski sojevi *Azotobacter černozem*, *Pseudomonas Violeta*, *Pseudomonas Dragana*, *Rhizobium trifolii 1* i *Actinomycete 9K*, kao i gljivice *Penicillium sp* i *Alternarium sp* nisu reagovali na vodene rastvore odabranih samoniklih biljaka ni pri najvećoj primjenenoj koncentraciji (10%). Voden rastvori su stimulisali rast bakterijskih sojeva *Azotobacter ritska crnica 2*, *Azotobacter pseudoglej 1*, *Bacillus subtilis marker 44*, *Bacillus subtilis Violeta*, *Bacillus megaterium 2*, *Rhizobium bradyrhizobium japoniku S511*, *Rhizobium D1* tj. bakterijski sloj je bio gušći oko diskova filter hartije na koji su naneti voden rastvori. Najveći stimulativni efekat postignut je pri najvećoj primjenenoj

konzentraciji, što ukazuje da vodeni rastvori ispitivanih biljaka imaju stimulativni uticaj na korisne mikroorganizme prisutne u zemljištu. Vodeni rastvori nisu uticali na rast ispitivanih gljivica, dakle nisu ispoljili ni fungicidno dejstvo (Šućur i sar., 2017 b; Šućur i sar., 2019).



Slika 29. Zona stimulacije rasta bakterijskog soja *Azotobacter pseudoglej 1* pod uticajem vodenog rastvora *S. sclarea*.



Slika 30. Zona stimulacije rasta bakterijskog soja *Rhizobium bradyrhizobium japoniku S511* pod uticajem vodenog rastvora *S. montana*.

Rezultati ispitivanja antibakterijske aktivnosti vodenih rastvora *S. montana* su slični sa podacima koji se mogu naći u referentnoj literaturi (Serrano i sar., 2011). Pomenuti autori su utvrdili da vodeni ekstrakti ne pokazuju antibakterijsku aktivnost na odabrane Gram-pozitivne i Gram-negativne bakterije. Međutim, na istim bakterijskim sojevima etarsko ulje *S. montana* je ispoljilo snažno antimikrobno dejstvo (Serrano i sar., 2011). Razlog antimikrobne aktivnosti etarskih ulja je unjihovom liposolubilnom karakteru, što im omogućava lak prolaz kroz fosfolipidni dvosloj ćelijske membrane mikroorganizama. Tako i etarsko ulje *S. sclarea*, za razliku od vodenog rastvora, ispoljava snažno baktericidno i fungicidno dejstvo (Džamić i sar., 2008; Chovanová i sar., 2013). Etarsko ulje *C. menthifolium*, zahvaljujući pulegonu prisutnom u ulju, takođe pokazuje antimikrobnu i antifungalnu aktivnost (Demirci i sar., 2011).

Interesantno je istaći da nije postojala veća razlika u posledicama delovanja vodenih rastvora odabranih biljaka familije Lamiaceae na rast ispitanih bakterija i gljivica. Rastvori sve tri biljne vrste ispoljili su približno isti efekat na tretirane mikroorganizme, osim na bakterijski soj *Pseudomonas marker*, čiji je rast inhibirala najveća primenjena koncentracija vodenog rastvora *S. sclarea*.

Iako je poznato da pojedini flavonoidi deluju antimikrobno, применjeni vodići rastvori nisu pokazali antimikrobnu sposobnost. Ovi rezultati se mogu objasniti time da ispitivani vodići rastvori imaju nizak sadržaj bioaktivnih jedinjenja odgovornih za antimikrobnu aktivnost, što omogućava njihovu primenu kao herbicida ili insekticida u polju bez negativnog efekta po korisne mikroorganizme zemljista.

Tabela 7. Uticaj vodenog rastvora *S. montana* (0,1%, 0,2% i 10%) na rast bakterija i gljivica (Šućur, 2015).

%	72 h			120 h		
	0.1	0.2	10	0.1	0.2	10
<i>Azotobacter ritska crnica</i> 2	+	++	+++	+++	+++	+++
<i>Azotobacter pseudoglej</i> 1	+	++	++	+	++	+++
<i>Azotobacter černozem</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Pseudomonas Violeta</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Pseudomonas Dragana</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Pseudomonas marker</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Bacillus subtilis marker</i> 44	nu	nu	++	+	++	+++
<i>Bacillus subtilis Violeta</i>	nu	nu	++	nu	nu	++
<i>Bacillus megatherium</i>	nu	nu	++	nu	nu	++
<i>Rhizobium bradyrhizobium japoniku S511</i>	nu	nu	+	+	+	+
<i>Rhizobium D₁</i>	nu	nu	+	++	++	++
<i>Rhizobium trifolii</i> 1	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Penicilium sp</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Alternarium sp</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Trichoderma asperellum</i>	-	nu	nu	nu	nu	nu
144 h						
	0.1	0.2	10			
<i>Actinomycete</i> 10	nu	nu	++			
<i>Actinomycete</i> 9K	nu	nu	nu			
<i>Actinomycete</i> 5	nu	nu	++			

Znak „-“ označava da je u toj zoni proređen bakterijski tepih, odnosno usporen rast bakterija; znak „+“ označava da je u toj zoni gušći bakterijski tepih, odnosno stimulisan rast bakterija; „nu“ znači da nema uticaja na bakterijski rast

Tabela 8. Uticaj vodenog rastvora *S. sclarea* (0,1%, 0,2% i 10%) na rast bakterija i gljivica (Šućur, 2015).

%	72 h			120 h		
	0.1	0.2	10	0.1	0.2	10
<i>Azotobacter ritska crnica</i> 2	++	++	+++	+++	+++	+++
<i>Azotobacter pseudoglej</i> 1	+	++	++	+	++	+++
<i>Azotobacter černozem</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Pseudomonas Violeta</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Pseudomonas Dragana</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Pseudomonas marker</i>	nu	nu	nu	nu	nu	---
<i>Bacillus subtilis marker</i> 44	nu	nu	++	+	++	+++
<i>Bacillus subtilis Violeta</i>	nu	nu	++	nu	nu	++
<i>Bacillus megatherium</i>	nu	nu	+++	nu	nu	+++
<i>Rhizobium bradyrhizobium japoniku S511</i>	nu	nu	+	+	+	+
<i>Rhizobium D_I</i>	nu	nu	+	++	++	+
<i>Rhizobium trifolii</i> 1	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Penicilium sp</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Alternarium sp</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Trichoderma asperellum</i>	nu	nu	-	nu	nu	nu
144 h						
	0.1	0.2	10			
<i>Actinomycete</i> 10	nu	nu	nu			
<i>Actinomycete</i> 9K	nu	nu	+			
<i>Actinomycete</i> 5	nu	nu	nu			

Znak „-“ označava da je u toj zoni proređen bakterijski tepih, odnosno usporen rast bakterija; znak „+“ označava da je u toj zoni gušći bakterijski tepih, odnosno stimulisan rast bakterija; „nu“ znači da nema uticaja na bakterijski rast

Tabela 9. Uticaj vodenog rastvora *C. menthifolium* (0,1%, 0,2% i 10%) na rast bakterija i gljivica (Šućur, 2015).

%	72 h			120 h		
	0.1	0.2	10	0.1	0.2	10
<i>Azotobacter ritska crnica</i> 2	+	++	+++	+++	+++	+++
<i>Azotobacter pseudoglej</i> 1	+	++	++	+	++	+++
<i>Azotobacter černozem</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Pseudomonas Violeta</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Pseudomonas Dragana</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Pseudomonas marker</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Bacillus subtilis marker</i> 44	nu	nu	++	+	++	+++
<i>Bacillus subtilis Violeta</i>	nu	nu	++	nu	nu	++
<i>Bacillus megatherium</i>	nu	nu	++	nu	nu	++
<i>Rhizobium bradyrhizobium japoniku S511</i>	nu	nu	+	+	+	+
<i>Rhizobium D_I</i>	nu	nu	+	++	+	+
<i>Rhizobium trifolii</i> 1	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Penicilium sp</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Alternarium sp</i>	nu	nu	nu	nu	nu	nu
<i>Trichoderma asperellum</i>	nu	nu	-	nu	nu	nu
144 h						
	0.1	0.2	10			
<i>Actinomycete</i> 10	nu	nu	++			
<i>Actinomycete</i> 9K	nu	nu	nu			
<i>Actinomycete</i> 5	nu	nu	+++			

Znak „-“ označava da je u toj zoni proređen bakterijski tepih, odnosno usporen rast bakterija; znak „+“ označava da je u toj zoni gušći bakterijski tepih, odnosno stimulisan rast bakterija; „nu“ znači da nema uticaja na bakterijski rast

8. Prilog- Metode rada

Ispitivanje alelopatskog potencijala vodenih rastvora

Za ispitivanje alelopatskog potencijala vodenih rastvora *S. montana*, *C. menthifolium* i *S. sclarea* korišćene su sadnice paprike (*Capsicum annuum L.*) sorte Anita, soje (*Glycine max L.*) sorte Viktorija i tri vrste korova: crna pomoćnica (*Solanum nigrum L.*), tatula (*Datura stramonium L.*) i klasača (*Bromus mollis L.*).

Priprema klijanaca

Semena su površinski sterilisana potapanjem u 10% H₂O₂ na 3 minuta, zatim su ispirana destilovanom vodom nekoliko puta. Uniformno klijanje je dobijeno na vlažnom pesku pod kontrolisanim uslovima: 28 °C, relativna vlažnost vazduha 60%, fotoperiod od 18 h i osvetljenost od 10 000 lx. Nakon 15 dana sadnice su prenete u plastične kutije sa Hoglandovim rastvorom (10% MgSO₄ x 7H₂O, 10% Ca(NO₃)₂ x 4 H₂O, 10% KH₂PO₄, 10% KNO₃, mikroelementi, 7,5% Fe-EDTA). Dve nedelje kasnije tretirane su vodenim rastvorima ispitivanih biljaka. Listovi i koren tretiranih biljaka, uzorkovani nakon 24-časovnog, 72-časovnog i 120-časovnog tretmana, su korišćeni u daljem radu.

Priprema ekstrakata za određivanje biohemijskih parametara

Ekstrakti svežeg biljnog materijala (listova i korena tretiranih biljaka) za biohemijске analize dobijeni su homogenizacijom 1 g svežeg biljnog materijala u avanu uz dodatak 10 ml 0,1 mol/dm³ KH₂PO₄ pufera (pH 7). Nakon homogenizacije, homogenat je kvantitativno prenet u plastičnu epruvetu. Dobijeni ekstrakti su centrifugirani na 2500 x g 15 min. Supernatant je korišćen kao uzorak u daljim analizama.

Određivanje ukupnih proteina

Sadržaj rastvorljivih proteina određen je metodom po Bradfordu (Sedmark i Grossberr, 1977; Spector, 1978), koja se zasniva na vezivanju boje Coomassie blue G-250 za bazne i aromatične ostatke aminokiselina u proteinu.

Određivanje intenziteta lipidne peroksidacije

Sadržaj malondialdehida (MDA), jednog od krajnjih proizvoda razgradnje membranskih lipida, koristi se kao merilo intenziteta lipidne peroksidacije (LP). Intenzitet LP određuje se pomoću tiobarbiturne kiseline (TBA), pri čemu je merena oksidacija lipida ćelijskih membrana preko reakcije lipid-peroksidnih produkata nastalih u reakcionom sistemu sa tiobarbiturnom kiselinom (Mandal i sar., 2008).

Određivanje aktivnosti superoksid-dismutaze

Aktivnost superoksid-dismutaze (SOD, EC 1.15.1.1) određena je po metodi Mandal i sar. (2008) sa malim izmenama, koja se zasniva na principu sposobnosti inhibicije fotohemijске redukcije nitroblutetrazolijum-hlorida (NBT) u kojoj nastaje plavi proizvod reakcije NBT sa O_2^- formazan.

Određivanje aktivnosti gvajakol-peroksidaze

Metoda za određivanje aktivnosti gvajakol-peroksidaze (EC 1.11.1.7), zasniva se na transformaciji gvajakola u tetragvajakol u prisustvu aktivnosti enzima gvajakol-peroksidaze (Morkunas i Gmerek, 2007).

Određivanje aktivnosti pirogalol-peroksidaze

Metoda za određivanje pirogalol-peroksidaze (EC 1.11.1.7), zasniva se na reakciji oksidacije pirogalola u purpurogalin u prisustvu aktivnosti enzima pirogalol-peroksidaze (Morkunas i Gmerek, 2007).

Određivanje aktivnosti katalaze

Aktivnost katalaze (CAT, EC 1.11.1.6), je određena pomoću vodonik-peroksida kao supstrata (Sathya i Bjorn, 2010).

Ispitivanje insekticidnog dejstva vodenih rastvora *S. montana*, *C. menthifolium* i *S. sclarea* na odrasle jedinke žitnog kukuljičara

Eksperiment je izveden na odraslim jedinkama žitnog kukuljičara primenom testova za ispitivanje kontaktnog i kontaktno-digestivnog dejstva.

Kontaktno delovanje: U cilju ispitivanja kontaktnog delovanja vodenih rastvora, ogled je postavljen po metodi Kouninki i sar. (2007). U epruvete, prethodno „isprane“ biljnim vodenim rastvorima, je postavljeno po 10 odraslih jedinki žitnog kukuljičara. Epruvete su zatim zatvorene parafilmom i položene u horizontalni položaj kako bi insekti mogli da se kreću po nakvašenim zidovima epruvete. Epruvete su takođe inkubirane u termostatu na 28 °C u mraku. Broj uginulih jedinki je praćen nakon 24-časovne i 48-časovne kontaktne ekspozicije.

Kontaktno-digestivno delovanje: Kontaktno-digestivni efekat ispitivanih rastvora je procenjen primenom „testa bez izbora“ (engl. „No-choice test“), po metodi Obeng-Oferi i Reichmuth (1997). Za svaki biljni voden rastvor na vagi je odmereno 40 g zrna pšenice koje je tretirano određenom koncentracijom vodenog rastvora u odnosu 3 ml rastvora na 100 g zrna. Tretirano zrno je ostavljen da se suši 2 h na sobnoj temperaturi, a nakon sušenja, podeljeno je na četiri dela, za četiri ponavljanja i postavljeno u Petri kutije zajedno sa po 20 odraslih jedinki žitnog kukuljičara. Uginuće jedinki je praćeno nakon 24-časovne, 48-časovne i 72-časovne kontaktno-digestivne ekspozicije, a nakon 72-časovne ekspozicije je merena i masa pojedene hrane.

Ispitivanje insekticidnog dejstva vodenih rastvora *S. montana*, *C. menthifolium* i *S. sclarea* na odrasle jedinke bele leptiraste vaši

Eksperiment je izveden na odraslim jedinkama bele leptiraste vaši, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood, 1856) (Homoptera: Aleyrodidae), sakupljenim u staklenoj bašti.

Paprika (sorta Anita) gajena je u saksijama. U ogledu je korišćena cela biljka u početnom stadijumu rasta (obrazovana četiri lista). Nadzemni deo sadnice paprike isprskan je vodenim rastvorima biljaka *S. montana*, *C.*

menthifolium i *S. sclarea* određene koncentracije (0,1% i 0,2%), odvojeno. Za kontrolu je poslužila paprika isprskana vodom. U laboratorijske čaše (25 cm x 12 cm), koje su sadržale tretiranu papriku, dodato je 20 odraslih jedinki bele leptiraste vaši. Ogled je postavljen u tri ponavljanja i tri kontrole. Smrtnost je očitavana posle 24-časovne, 48-časovne i 96-časovne ekspozicije.

Ispitivanje insekticidnog dejstva etarskog ulja *S. montana*, *C. menthifolium* i *S. sclarea* na adulte kestenjastog brašnara i pirinčanog žiška

Eksperiment je izveden na adultima štetočina uskladištenih namirnica, kestenjastog brašnara, *Tribolium castaneum* (Herbst, 1979) i pirinčanog žiška, *Sitophilus oryzae* (Linnaeus, 1763). Odrasli insekti uzgajani su u laboratoriji u kontrolisanim uslovima ($25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ i 70–80% vlage) na pšeničnom brašnu.

Ogled je postavljen u Petri pusudama, u tri ponavljanja za svaku biljku i kontrolu. Postavljeno je 10 odraslih insekata u svaku Petri posudu, u kojima su za hranjenje insekata postavljeni diskovi napravljeni od vode i pšeničnog brašna, na koje je naneta poznata koncentracija etarskog ulja ispitivanih biljaka. Za kontrolu su postavljene Petri kutije koje su sadržale diskove na koje je naneta ista zapremina *n*-heksana. Razmatrano je insekticidno dejstvo etarskih ulja ispitivanih biljaka, takođe i stopa smrtnosti odraslih insekata nakon 24-časovnog, 48-časovnog i 96-časovnog tretiranja.

Ispitivanje uticaja vodenih rastvora *S. montana*, *C. menthifolium* i *S. sclarea* na rast korisnih mikroorganizama

Za ispitivanje uticaja vodenih rastvora herbi odabranih biljnih vrsta na rast i razmnožavanje bakterija i gljivica primenjena je disk-difuziona metoda (Prabuseenivasan i sar., 2006).

Pripremane su kulture mikroorganizama u odgovarajućim hranljivim podlogama (Fjodorova podloga za *Azotobacter*, MPA podloga za *Pseudomonas* i *Bacillus*, podloga po Vjucentu za *Rhizobium*, sintetička podloga za *Actinomycete* i Čapek za gljivice) i inkubirane na 37°C . Kulture su zasejane na odgovarajuće

sterilne podloge u Petri posudama (prečnik 90 mm, zapremina podloge 25 ml, debljina sloja podloge 4 mm), da bi se postigao uniformni rast mikroorganizama. Pod sterilnim uslovima, sterilni diskovi (prečnik 2 cm) sa prethodno nanetim različitim koncentracijama ispitivanih vodenih rastvora (0,1%, 0,2% i 10%) su postavljeni u Petri posude sa pripremljenom podlogom i suspenzijom bakterija. Inkubacija je vršena na 28 °C. Svaki test je urađen u triplikatu. Nakon 48-časovnog, 72-časovnog i 120-časovnog tretiranja mereni su prečnici (mm) zona inhibicije/stimulacije rasta.

Statistička obrada podataka

Svi eksperimenti su izvedeni u najmanje tri ponavljanja, a rezultati predstavljeni kao srednja vrednost. Određena je standardna greška (SE). Za pojedine parametre je urađen Duncan-ov test višestrukih intervala. Podaci su obrađeni primenom softverskog paketa Microsoft Excel for Windows version 2007 i Statistica for Windows version 12 (StatSoft, Inc, Tulsa, OK, USA).

9. Literatura

- Abuja, P.M., Albertini, R. (2001): Methods for monitoring oxidative stress, lipid peroxidation and oxidation resistance of lipoproteins. *Clinica Chimica Acta*, **306**: 1–17.
- Agrawal, A.D. (2011): Pharmacological Activities of Flavonoids: A Review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Nanotechnology*, **4(2)**: 1394–1398.
- Akbarzadeh, M., Bajalan, I., Qalayi, E. (2013): Allelopathic effect of Lavender (*Lavandula officinalis*) on seed germination of velvet flower and purslane. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, **4(6)**: 1285–1289.
- An, M., Liu, D.L., Johnson, I.R., Lovett, J.V. (2003): Mathematical modelling of allelopathy: II. The dynamics of allelochemicals from living plants in the environment. *Ecological Modelling*, **161**: 53–66.
- Andrić, G. (2012): Osetljivost populacija kestenjastog brašnara, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) na sintetisane i prirodne insekticide u interakciji sa efektima ekstremne temperature. *Doktorska disertacija*, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Apel, K., Hirt, H. (2004): Reactive Oxygen Species: Metabolism, Oxidative Stress, and Signal Transduction. *Annual Review of Plant Biology*, **55**: 373–399.
- Asami, K.D., Hong, J.Y., Barrett, M.D., Mitchell, E.A. (2003): Comparison of the Total Phenolic and Ascorbic Acid Content of Freeze-Dried and Air-Dried Marionberry, Strawberry, and Corn Grown Using Conventional, Organic, and Sustainable Agricultural Practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51**: 1237–1241.

- Ayvaz, A., Sagdic, O., Karaborklu, S., Ozturk, I. (2010): Insecticidal activity of the essential oils from different plants against three stored-product insects. *Journal of Insect Science*, **10**: 21–26.
- Babović, N., Petrović, S. (2011): Izolovanje antioksidanasa postupkom nadkritične ekstrakcije. *Hemiska industrija*, **65**: 79–86.
- Bajalan, I., Oregani, K.E., Moezi, A.A., Gholami, A. (2013): Allelopathic Effects of Aqueous Extract from *Salvia officinalis* L. On Seed Germination of Wheat and Velvet flower. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, **3(6)**: 485–488.
- Barrera, G. (2012): Oxidative Stress and Lipid Peroxidation Products in Cancer Progression and Therapy. *International Scholarly Research Notices*, **2012**: 1–21.
- Batish, D.R., Singh, H.P., Kohli, R.K., Kaur, S. (2008): Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management*, **256**: 2166–2174.
- Beecher, G.R. (2003): Overview of Dietary Flavonoids: Nomenclature, Occurrence and Intake. *The Journal of Nutrition*, **133**: 3248–3254.
- Bell, A.E., Charlwood, B.V. (1980): Secondary Plant Products, u: A.E. Bell, B.V. Gharlwood (ur.), *Encyclopedia of Plant Physiology Vol 8*: 11–21, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Bhadoria, P.B.S. (2011): Allelopathy: A Natural Way towards Weed Management. *American Journal of Experimental Agriculture*, **1(1)**: 7–20.
- Blanco, J.A. (2007): The representation of allelopathy in ecosystem-level forest models. *Ecological Modelling*, **209**: 65–77.
- Bogatek, R., Gniazdowska, A. (2007): ROS and Phytohormones in Plant-Plant Allelopathic Interaction. *Plant Signaling & Behavior*, **2(4)**: 317–318.
- Bogatek, R., Gniazdowska, A., Zakrzewska, W., Oracz, K., Gawroński, S.W. (2006): Allelopathic effects of sunflower extracts on mustard seed germination and seedling growth. *Biologia Plantarum*, **50(1)**: 156–158.

- Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Simin, N., Anackov, G. (2006): Characterization of the Volatile Composition of Essential Oils of Some Lamiaceae Spices and the Antimicrobial and Antioxidant Activities of the Entire Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **54**: 1822–1828.
- Braca, A., Sortino, C., Politi, M., Morelli, I., Mendez, J. (2002): Antioxidant activity of flavonoids from *Licania licaniaeflora*. *Journal of Ethnopharmacology*, **79**: 379–381.
- Bravo, R.H., Copaja, V.S., Lamborot, M. (2013): Phytotoxicity of Phenolic Acids From Cereals, Herbicides-Advances in Research, doi:10.5772/55942.
- Bruneton, J. (1999): Pharmacognosy, Phytochemistry, Medicinal Plants, Editions TEC & DOC, Paris, France.
- Çalmaşur, O., Aslan, I., Sahin, F. (2005): Insecticidal and acaricidal effect of three Lamiaceae plant essential oils against *Tetranychus urticae* Koch and *Bemisia tabaci* Genn. *Industrial Crops and Products*, **23**: 140–146.
- Cao, P., Liu, C., Li, D. (2011): Effects of different autotoxins on antioxidant enzymes and chemical compounds in tea (*Camellia sinensis* L.) Kuntze. *African Journal of Biotechnology*, **10(38)**: 7480–7486.
- Carocho, M., Ferreira, I.C.F.R. (2013): A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, **51**: 15–25.
- Castellano, G. (2012): Classification of Phenolic Compounds by Chemical Structural Indicators and Its Relation to Antioxidant Properties of *Posidonia Oceanica* (L.) Delile. *MATCH Communications in Mathematical and in Computer Chemistry*, **67**: 231–250.
- Chadwick, M., Trewn, H., Gawthrop, F., Wagstaff, C. (2013): Sesquiterpenoids Lactones: Benefits to Plants and People. *International Journal of Molecular Sciences*, **14**: 12780–12805.

- Chen, S., Schopfer, P. (1999): Hydroxyl-radical production in physiological reactions. A novel function of peroxidase. *European Journal of Biochemistry*, **260**: 726–735.
- Chou, C.H. (2006): Introduction to allelopathy, u: M.J. Regosa, N. Pedrol, L. González (ur.), Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications Vol 1: 1–9, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Chovanová, R., Mikulášová, M., Veverková, Š. (2013): *In Vitro* Antibacterial and Antibiotic Resistance Modifying Effect of Bioactive Plant Extracts on Methicillin-Resistant *Staphylococcus epidermidis*. *International Journal of Microbiology*, 2013: 1–7 (<https://doi.org/10.1155/2013/760969>).
- Croteau, R. (1998): The discovery of terpenes, u: S.D. Kung, S.F. Yang. (ur.), Discoveries in Plant Biology Vol 1: 329–343, Washington State University, Washington, USA.
- Čeković, Ž. (2006): Zaštita bilja pomoću prirodnih pesticida. *Hemijnska industrija*, **60(5–6)**: 113–119.
- Damjanović-Vratnica, B., Perović, A., Šuković, A., Perović, S. (2011): Effect of vegetation cycle on chemical content and antibacterial activity of *Satureja montana* L. *The Archives of Biological Sciences*, **63(4)**: 1173–1179.
- Davey, W.M., Van Montagu, M., Inzé, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnoff, N., Benzie, J.J.I., Strain, J.J., Favell, D., Fletcher, J. (2000): Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **80**: 825–860.
- Dayan, E.F. (2006): Factors modulating the levels of the allelochemical sorgoleone in *Sorghum bicolor*. *Planta*, **224(2)**: 339–346.
- De Albuquerque, M.B., Dos Santos, R.C., Lima, L.M., Melo Filho, P.A., Nogueira, R.J.M.C., Da Camara, C.A.G., Ramos, A.R. (2011): Allelopathy, an alternative tool to improve cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, **31**: 379–395.

- Degenhardt, J., Köllner, G.T., Gershenzon, J. (2009): Monoterpene and sesquiterpene synthases and the origin of terpene skeletal diversity in plants. *Phytochemistry*, **70**: 1621–1637.
- Dehghani, M., Ahmadi, K. (2013): Anti-oviposition and repellence activities of essential oils and aqueous extracts from five aromatic plants against greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Homoptera: Aleyrodidae). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, **19**: 691–696.
- Dellavalle, P.D., Cabrera, A., Alem, D., Larrañaga, P., Ferreira, F., Rizza, M.D. (2011): Antifungal activity of medicinal plant extracts against phytopathogenic fungus *Alternaria* spp. *Chilean Journal of Agricultural Research*, **71(2)**: 231–239.
- Demirci, B., Temel, H.E., Portakal, T., Kirmizibekmez, H., Demirci, F., Bašer, K.H.C. (2011): Inhibitory effect of *Calamintha nepata* subsp. *glandulosa* essential oil on lipoxygenase. *Turkish Journal of Biochemistry*, **36(4)**: 290–295.
- Diklić, N. (1974): Flora SR Srbije, tom IV (ur. M. Josifović), SANU, Beograd, SR Srbija.
- Ding, J., Sun, Y., Xiao, C.L., Shi, K., Zhou, Y.H., Yu, J.Q. (2007): Physiological basis of different allelopathic reactions of cucumber and figleaf gourd plants to cinnamic acid. *Journal of Experimental Botany*, **58(13)**: 3765–3773.
- Dmitrović, S. (2012): Alelopatski efekti transformisanih korenova. *Doktorska disertacija*, Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Dotan, Y., Lichtenberg, D., Pinchuk, I. (2004): Lipid peroxidation cannot be used as a universal criterion of oxidative stress. *Progress in Lipid Research*, **43**: 200–227.
- Džamić, A., Soković, M., Ristić, M., Grujić-Jovanović, S., Vukojević, J., Marin, P.D. (2008): Chemical composition and antifungal activity of *Salvia sclarea* (Lamiaceae) essential oil. *Archives of Biological Science*, **60(2)**: 233–237.

- Đilas, S., Čanadanović-Brunet, J., Tumbas, V., Ćetković, G. (2010): Biološka aktivnost bobičastog voća. *Glasnik hemičara, tehnologa i ekologa Republike Srpske*, **4**: 1–11.
- Elavarthi, S., Martin, B. (2010): Spectrophotometric assays for antioxidant enzymes in plants. *Methods in Molecular Biology*, **639**: 273–281.
- Ercisli, S., Esitken, A., Turkkal, C., Orhan, E. (2005): The allelopathic effects of juglone and walnut leaf extracts on yield, growth, chemical and PNE compositions of strawberry cv. Fern. *Plant, Soil and Environment*, **51(6)**: 283–287.
- Fakoorziba, M.R., Moemenbellah-Fard, M.Dj., Azizi, K., Shekarpoor, H., Alipoor, H. (2014): Excito-Repellency Effects of *Salvia sclarea* L. (Lamiaceae) Extracts on Adult House Flies, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). *Journal of Health Sciences and Surveillance System*, **2(1)**: 2–7.
- Farooq, M., Jabran, K., Cheema, Z.A., Wahid, A., Kadambot, H.M., Siddiquec, K.H.M. (2011): The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Management Science*, **67**: 493–506.
- García, M., Donael, O.J., Ardanaz, C.E., Tonn, C.E, Sosa, M.E. (2005): Toxic and repellent effects of *Baccharis salicifolia* essential oil on *Tribolium castaneum*. *Pest Management Science*, **61**: 612–618.
- Gatti, A.B., Ferreira, A.G., Arduin, M., Perez, S.C.G.A. (2010): Allelopathic effects of aqueous extracts of *Artistolochia esperanzae* O. Kuntze on development of *Sesamum indicum* L. seedlings. *Acta Botanica Brasilica*, **24**: 454–461.
- Gella, D., Ashagre, H., Negewo, T. (2013): Allelopathic effect of aqueous extracts of major weed species plant parts on germination and growth of wheat. *Journal of Agricultural and Crop Research*, **1(3)**: 30–35.
- Ghasemzadeh, A., Ghasemzadeh, N. (2011): Flavonoids and phenolic acids: Role and biochemical activity in plants and human. *Journal of Medicinal Plants Research*, **5**: 6697–6703.
- Gião, M.S., Gomes, S., Madureira, A.R., Faria, A., Pestana, D., Calhau, C., Pintado, E.M., Azevedo, I., Malcata, F.X. (2012): Effect of *in vitro* digestion upon

- the antioxidant capacity of aqueous extracts of *Agrimonia eupatoria*, *Rubus idaeus*, *Salvia* sp. and *Satureja montana*. *Food Chemistry*, **131**: 761–767.
- Gião, M.S., Pereira, C.I., Fonseca, S.C., Pintado, M.E., Malcata, F.X. (2009): Effect of particle size upon the extent of extraction of antioxidant power from the plants *Agrimonia eupatoria*, *Salvia* sp. and *Satureja montana*. *Food Chemistry*, **117**: 412–416.
- Girotti, A.W. (1985): Mechanisms of lipid peroxidation. *Journal of Free Radicals in Biology & Medicine*, **1**: 87–95.
- Gniazdowska, A., Bogatek, R. (2005): Allelopathic interactions between plants. Multi site action of allelochemicals. *Acta Physiologiae Plantarum*, **27**: 395–407.
- Groves, T.J. (1999): Peroxinitrite: reactive, invasive and enigmatic. *Current Opinion in Chemical Biology*, **3**: 226–235.
- Gülçin, İ., Uğuz, T.M., Oktay, M., Bejdemir, Ş., Küfrevioğlu, Ö. (2004): Evaluation of the Antioxidant and Antimicrobial Activities of Clary Sage (*Salvia sclarea* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, **28**: 25–33.
- Gvozdenac, S., Šućur, J., Manojlović, A., Prvulović, D., Malenčić, Đ. (2018): Influence of winter savory (*Satureja montana*) aqueous extract on mortality of lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica*). *Botanica Serbica*, **42(2)**: 277–281.
- Haddadchi, G.R., Gerivani, Z. (2009): Effects of Phenolic Extracts of Canola (*Brassica napuse* L.) on Germination and Physiological Responses of Soybean (*Glycin max* L.) Seedlings. *International Journal of Plant Production*, **3(1)**: 63–74.
- Häkkinen, S. (2000): Flavonols and Phenolic Acids in Berries and Berry Products. *Doctoral dissertation*, Faculty of Medicine, University of Kuopio.
- Halliwell, B. (2012): Free radicals and antioxidants: updating a personal view. *Nutrition Reviews*, **70(5)**: 257–265.
- Halliwell, B., Gutteridge, J.M. (1985): Free radicals in biology and medicine, Oxford University press, Toronto, New York.

- Halliwell, B., Whiteman, M. (2004): Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean?. *British Journal of Pharmacology*, **142**: 231–255.
- Hammond-Kosack, K.E., Jones, J.D.G. (1996): Resistance Gene-Dependent Plant Defense Responses. *Plant Cell*, **8**: 1773–1791.
- Harrison, H.F., Peterson, J.K., Snook, M.E., Bohac, J.R., Jackson, D.M. (2003): Quantity and Potential Biological Activity of Caffeic Acid in Sweet Potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] Storage Root Periderm. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51**: 2943–2948.
- Hassanein, H.D., Said-Al, A.H., Abdelmohsen, M.M. (2014): Antioxidant polyphenolic constituents of *Satureja montana* L. growing in Egypt. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, **6(4)**: 578–581.
- Ho, S.H., Koh, L., Ma, Y., Huang, Y., Sim, K.Y. (1996): The oil of garlic, *Allium sativum* L. (Amaryllidaceae), as a potential grain protectant against *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Sitophilus zeamais* Motsch. *Postharvest Biology and Technology*, **9**: 41–48.
- Huang, Y., Tan, J.M.W.L., Kini, R.M., Ho, S.H. (1997): Toxic and antifeedant action of nutmeg oil against *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Sitophilus zeamais* Motsch. *Journal of Stored Products Research*, **33**: 289–298.
- Huda-Faujan, N., Noriham, A., Norrakiah, A.S., Babji, A.S. (2009): Antioxidant activity of plants methanolic extracts containing phenolic compounds. *African Journal of Biotechnology*, **8(3)**: 484–489.
- Hudaib, M., Bellardi, M.G., Rubies-Autonell, C., Fiori, J., Cavrini, V. (2001): Chromatographic (GC-MS, HPLC) and virological evaluations of *Salvia sclarea* infected by BBWV-I. *IL Farmaco*, **56**: 219–227.
- Inderjit, I., Wardle, D.A., Karban, R., Callaway, R.M. (2011): The ecosystem and evolutionary contexts of allelopathy. *Trends in Ecology and Evolution*, **26**: 655–662.

- Inzé, D., Van Montagu, M. (1995): Oxidative stress in plants. *Current Opinion in Biotechnology*, **6**: 153–158.
- Jančić, R., Stošić, D., Mimica-Dukić, N., Lakušić, B. (1995): Aromatične biljke Srbije, NIP dečje novine, Beograd, Srbija.
- Janićijević-Hudomal, S., Kenić, J., Arsić-Komljenović, G. (2008): Antioksidantni potencijal biljke matočina (*Mellitis melisophyllum*). *Praxis Medica*, **36**: 83–87.
- Janjić, V., Stanković-Kalezić, R., Radivojević Lj. (2008): Prirodni proizvodi sa alelopatskim, herbicidnim i toksičnim delovanjem. *Acta Herbologica*, **17**: 1–22.
- Jemâa, J.M.B., Tersim, N., Toudert K.T. (2012): Insecticidal activities of essential oils from leaves of *Laurus nobilis* L. from Tunisia, Algeria and Morocco, and comparative chemical composition. *Journal of Stored Product Research*, **48**: 97–104.
- Karpouhtsis, I., Pardali, E., Feggou, E., Kokkini, S., Scouras, Z.G., Mavragani-Tsipidou, P. (1998): Insecticidal and Genotoxic Activities of Oregano Essential Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **46**: 1111–1115.
- Kato-Noguchi, H. (2004): Allelopathic substance in rice root exudates: Rediscovery of momilactone B as an allelochemical. *Journal of Plant Physiology*, **161**: 271–276.
- Kato-Noguchi, H., Ino, T. (2003): Rice seedlings release momilactone B into the environment. *Phytochemistry*, **63**: 551–554.
- Kato-Noguchi, H., Ino, T. (2005): Concentration and release level of momilactone B in the seedlings of eight rice cultivars. *Journal of Plant Physiology*, **162**: 965–969.
- Kato-Noguchi, H., Ino, T. (2005): Possible involvement of momilactone B in rice allelopathy. *Journal of Plant Physiology*, **162**: 718–721.
- Kelly da Silva, A., Cazarin, C.B.B., Colomeu, T.C., Batista, A.G., Meletti, L.M.M., Paschoal, J.A.R., Bogusz, S., Furlan, M.F., Reyes, F.G.R., Augusto, F.,

- Marostica, M.R., Zollner, R. (2013): Antioxidant activity of aqueous extract of passion fruit (*Passiflora edulis*) leaves: *in vitro* and *in vivo* study. *Food Research International*, **53**: 882–890.
- Kišgeci, J. (2002): Lekovito bilje. Gajenje, sakupljanje, upotreba, Partenon, Beograd, Srbija.
- Kišgeci, J. (2005): Lekovite i aromatične biljke, Partenon, Beograd, Srbija.
- Kostić, I., Marković, T., Krnjajić, S. (2012): Sekretorne strukture aromatičnih biljaka sa posebnim osvrtom na strukture sa etarskim uljima, mesta sinteze ulja i njihove važnije funkcije. *Lekovite Sirovine*, **32**: 3–25.
- Kouninki, H., Hance, T., Noudjou, F.A., Lognay, G., Malaisse, F., Ngassoum, M.B., Mapongmetsem, P.M., Ngamo, L.S.T., Haubrige, E. (2007): Toxicity of some terpenoids of essential oils of *Xylopia aethiopica* from Cameroon against *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Journal of Applied Entomology*, **131**: 269–274.
- Kovačević, D., Momirović, N. (2000): Uloga integralnih sistema u suzbijanju korova u konceptu održive poljoprivrede. *Acta Herbologica*, **9**: 29–40.
- Krishnaiah, D., Sarbatly, R., Nithyanandam, R. (2011): A review of the antioxidant potential of medicinal plant species. *Food and Bioproducts Processing*, **8(9)**: 217–233.
- Kumar, S., Pandey, A.K. (2013): Chemistry and Biological Activities of Flavonoids: An Overview. *The Scientific World Journal*, doi: 10.1155/2013/162750.
- Kuthan, H., Haussmann, H.J., Werringloer, J. (1986): A spectrophotometric assay for superoxide dismutase activities in crude tissue fractions. *Biochemical Journal*, **237**: 175–180.
- Kuźma, Ł., Różalski, M., Walencka, E., Różalska, B., Wysokińska, H. (2007): Antimicrobial activity of diterpenoids from hairy roots of *Salvia sclarea* L.: Salvipisone as a potential anti-biofilm agent active against antibiotic resistant *Staphylococci*. *Phytomedicine*, **14**: 31–35.

- Li, Y., Hu, T., Zeng, F., Chen, H., Wu, X. (2013): Effects of *Eucalyptus grandis* Leaf Litter Decomposition on the Growth and Resistance Physiology Traits of *Eremochloa ophiurooides*. *Journal of Plant Studies*, **2(1)**: 158–165.
- Li, Z.H., Wang, Q., Ruan, X., Pan, C., Jiang, D.A. (2010): Phenolics and Plant allelopathy. *Molecules*, **15**: 8933–8952.
- Liu, Y., Li, F., Huang, Q. (2013): Allelopathic effects of gallic acid from *Aegiceras corniculatum* on *Cyclotella caspia*. *Journal of Environmental Sciences*, **25(4)**: 776–784.
- Lopez-Alarcona, C., Denicolab, A. (2013): Evaluating the antioxidant capacity of natural products: A review on chemical and cellular-based assays. *Analytica Chimica Acta*, **763**: 1–10.
- Malenčić, Dj. (2001): Biohemija istraživanja odabranih samoniklih vrsta roda *Salvia* iz Vojvodine. *Doktorska disertacija*, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Malenčić, Dj., Kiprovska, B., Popović, M., Prvulović, D., Miladinović, J., Djordjević, V. (2010): Changes in antioxidant systems in soybean as affected by *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. *Plant Physiology and Biochemistry*, **48**: 903–908.
- Mandal, C., Ghosh, N., Adak, M.K., Dey, N. (2013): Interaction of polyamine on oxidative stress induced by exogenously applied hydrogen peroxide in *Salvinia natans* Linn. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, **25(3)**: 203–212.
- Mandal, M.S., Chakraborty, D., Dey, S. (2010): Phenolic acids act as signaling molecules in plant-microbe symbioses. *Plant Signaling & Behavior*, **5(4)**: 359–368.
- Mandal, S., Mitra, A., Mallick, N. (2008): Biochemical characterization of oxidative burst during interaction between *Solanum lycopersicum* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, **72**: 56–61.

- Marčić, D., Prijović, M., Drobnjaković, T., Perić, P., Šević, M., Stamenković, S. (2011): Efekti bioinsekticida u suzbijanju bele leptiraste vaši (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood) na paradajzu. *Pesticidi i Fitomedicina*, **26(4)**: 363–369.
- Marin, M., Novaković, M., Tešević, V., Vučković, I., Milojević, N., Vuković-Gačića, B., Marin, P.D. (2012): Antioxidative, antibacterial and antifungal activity of the essential oil of wild-growing *Satureja montana* L. from Dalmatia, Croatia. *Flavour and Fragrance Journal*, **27**: 216–223.
- Marnett, L.J. (1999): Lipid peroxidation-DNA damage by malondialdehyde. *Mutation Research*, **424**: 83–95.
- McCord, J.M. (2000): The Evolution of Free Radicals and Oxidative Stress. *The American Journal of Medicine*, **108**: 652–659.
- Meda, A., Lamien, E.C., Romito, M., Millogo, J., Nacoulma, G.O. (2005): Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. *Food Chemistry*, **91**: 571–577.
- Michalak, A. (2006): Phenolic Compounds and Their Antioxidant Activity in Plants Growing under Heavy Metal Stress. *Polish Journal of Environmental Studies*, **4**: 523–530.
- Mihajilov-Krstev, T., Radnović, D., Kitić, D., Stankov Jovanović, V., Mitić, V., Stojanović-Radić, Z., Zlatković, B. (2014): Chemical composition, antimicrobial, antioxidative and anticholinesterase activity of *Satureja montana* L. ssp *montana* essential oil. *Central European Journal of Biology*, **9(7)**: 668–677.
- Mimica-Dukić, N., Bugarin, D., Grbović, S., Mitić-Ćulafić, D., Vuković-Gačić, B., Orčić, D., Jovic, E., Couladis, M. (2010): Essential Oil of *Myrtus communis* L. as a Potential Antioxidant and Antimutagenic Agents. *Molecules*, **15**: 2759–2770.

- Moharram, A.H., Youssef, M.M. (2014): Methods for Determining the Antioxidant Activity: A Review. *Alexandria Journal of Food Science and Technology*, **11(1)**: 31–42.
- Molnar, M., Čačić, M. (2011): Biološka aktivnost derivata kumarina. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, **3**: 55–65.
- Morkunas, I., Gmerek, J. (2007): The possible involvement of peroxidase in defense of yellow lupine embryo axes against *Fusarium oxysporum*. *Journal of Plant Physiology*, **164**: 185–194.
- Nagegowda, A.D. (2010): Plant volatile terpenoid metabolism: Biosynthetic genes, transcriptional regulation and subcellular compartmentation. *FEBS Letters*, **584**: 2965–2973.
- Nguyen, D.M., Seo, D.J., Lee, H.B., Kim, I.S., Kim, K.Y., Park, R.D., Jung, W.J. (2013): Antifungal activity of gallic acid purified from Terminalia nigrovenulosa bark against *Fusarium solani*. *Microbial Pathogenesis*, **56**: 8–15.
- Nijveldt, R.J., Van Nood, E., Van Hoorn, D.E.C., Boelens, P.G., Van Norren, K., Van Leeuwen, P.A.M. (2001): Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **74**: 418–425.
- Niki, E. (1987): Lipid antioxidants: how they may act in biological systems. *British Journal of Cancer*, **8**: 153–157.
- Niki, E. (2010): Assessment of Antioxidant Capacity in vitro and in vivo. *Free Radical Biology & Medicine*, **49**: 503–515.
- Niki, E., Yoshida, Y., Saito, Y., Noguchi, N. (2005): Lipid peroxidation: Mechanisms, inhibition, and biological effects. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, **338**: 668–676.
- Obeng-Ofori, D., Reichmuth, Ch. (1997): Bioactivity of eugenol, a major component of essential oil of *Ocimum suave* (Wild.) against four species of stored product Coleoptera. *International Journal of Pest Management*, **43**: 89–94.

- Omezzine, F., Bouaziz, M., Simmonds, M.S.J., Haouala, R. (2014): Variation in chemical composition and allelopathic potential of mixoploid *Trigonella foenum-graecum* L. with developmental stages. *Food Chemistry*, **148**: 188–195.
- Oppert, B., Morgan, T.D. (2013): Improved high-throughput bioassay for *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae). *Journal of Stored Products Research*, **52**: 68–73.
- Oracz, K., Bailly, C., Gniazdowska, A., Côme, D., Corbineau, F., Bogatek, R. (2007): Induction of Oxidative Stress by Sunflower Phytotoxins in Germinating Mustard Seeds. *Journal of Chemical Ecology*, **33**: 251–264.
- Orčić, D. (2010): Vrste *Tribusa scandiceae* (Apiaceae Lindley 1836, subfam. Apioideae). Potencijalni izvor biološki i farmakološki aktivnih sekundarnih biomolekula. *Doktorska disertacija*, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Pavela, R., Vrchotova, N., Šerá, B. (2009): Repellency and toxicity of three *Impatiens* species (Balsaminaceae) extracts on *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera: Aphididae). *Journal of Biopesticides*, **2(1)**: 48–51.
- Phillips, A.K., Appel, A.G. (2010): Fumigant toxicity of essential oils to the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae). *Journal of Economic Entomology*, **103(3)**: 781–790.
- Phillips, A.K., Appel, A.G., Sims, S.R. (2010): Topical toxicity of essential oils to the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae). *Journal of Economic Entomology*, **103(2)**: 448–459.
- Pietta, P.G. (2000): Flavonoids as antioxidants. *Journal of Natural Products*, **63(7)**: 1035–1042.
- Popović, A., Šućur, J., Orčić, D., Štrbac, P. (2013): Effects of essential oil formulations on the adult insect *Tribolium castaneum* (Herbst) (col., Tenebrionidae). *Journal of Central European Agriculture*, **14(2)**: 659–671.
- Popović, B., Štajner, D. (2008): Oksidativni stres kod biljaka, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Srbija.

- Popović, M. (2001): Biohemija biljaka, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Srbija.
- Popović, M., Gašić, O., Simmonds, M., Malenčić, Đ. (1997): Antimikrobnna aktivnost sekundarnih biomolekula nekih vrsta familije Asteraceae. *Arhiv za Farmaciju*, **5**: 630–631.
- Popović, M., Malenčić, Đ. (2006): Aktivni principi ukrasnog bilja, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Srbija.
- Prabuseenivasan, S., Jayakumar, M., Ignacimuthu, S. (2006): In vitro antibacterial activity of some plant essential oils. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, **6**: 39–47.
- Predin, T. (2014): Oksidativni stress kod pacijenata sa parodontopatijom. *Doktorska disertacija*, Medicinski fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Putnam, R.A. (1988): Allelochemicals from Plants as Herbicides. *Weed Technology*, **2(4)**: 510–518.
- Rahal, A., Kumar, A., Singh, V., Yadav, B., Tiwari, R., Chakraborty, S., Dhama, K. (2014): Oxidative Stress, Prooxidants, and Antioxidants: The Interplay. *BioMed Research International*, **2014**: 1–19.
- Roth, C.M., Shrozer, J.P., Paulsen, G.M. (2000): Allelopathy of Sorghum on Wheat under Several Tillage Systems. *Agronomy Journal*, **92**: 855–860.
- Safari, H., Tavili, A., Saberi, M. (2010): Allelopathic effects of *Thymus kotschyanus* on seed germination and initial growth of *Bromus tomentellus* and *Trifolium repens*. *Frontiers of Agriculture in China*, **4(4)**: 475–480.
- Sakihama, Y., Cohen, F.M., Grace, C.S., Yamasaki, H. (2002): Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: phenolics-induced oxidative damage mediated by metals in plants. *Toxicology*, **177**: 67–80.
- Sandhar, H.K., Kumar, B., Prasher, S., Tiwari, P., Salhan, M., Sharma P. (2011): A Review of Phytochemistry and Pharmacology of Flavonoids. *Internationale Pharmaceutische Scienzia*, **1**: 25–41.
- Sathya, E., Bjorn, M. (2010): Spectrophotometric Assays for Antioxidant Enzymes in Plants, u: E. Sathya, M. Bjorn (ur.), Plant Stress Tolerance Vol **639**: 273–280, Humana Press, Oklahoma, USA.

- Sedmark, J., Grossberg, S.E. (1977): A rapid, sensitive and versatile assay for protein using Coomassie Brilliant Blue G250. *Analytical Biochemistry*, **79**: 544–552.
- Serrano, C., Matos, O., Teixeira, B., Ramos, C., Neng, N., Nogueira, J., Nunes, M.L., Marques, A. (2011): Antioxidant and antimicrobial activity of *Satureja montana* L. extracts. *Journal of Science of food and Agriculture*, **91**: 1554–1560.
- Shaaya, E., Ravid, U., Paster, N., Juven, B., Zisman, U., Pissarev, V. (1991): Fumigant toxicity of essential oils against four major stored-product insects. *Journal of Chemical Ecology*, **17**: 499–504.
- Sharififar, F., Dehghn-Nudeh, G., Mirtajaldini, M. (2009): Major flavonoids with antioxidant activity from *Teucrium polium*. *Food Chemistry*, **112**: 885–888.
- Sharma, M., Satsangi, P.G. (2013): Potential Allelopathic Influence of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) on Germination and Growth behavior of Two Weeds *in vitro* Condition. *International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research*, **4(5)**: 421–426.
- Shaw, S., Jayatilleke, E. (1990): The role of aldehyde oxidase in ethanol-induced hepatic lipid peroxidation in the rat. *Biochemical Journal*, **268**: 579–583.
- Sikora, V., Berenji, J. (2008): Alelopatski potencijal Sirkova (*Sorghum* sp.). *Bilten za Hmelj, Sirak i Lekovito Bilje*, **40(81)**: 5–14.
- Simpson, B.B. (1995): Spices, herbs, and perfumes, u: B.B. Simpson, M.C. Ogorzaly (ur.), *Economic Botany: plants in Our World*, Vol **2**: 278–301, McGraw-Hill, New York, USA.
- Singh, G., Upadhyay, R.K. (1993): Essential oils: a potent source of natural pesticides. *Journal of Scientific and Industrial Research*, **52**: 676–683.
- Singh, H.P., Kaur, S., Batish, D.R., Kohli, R.K. (2009): Caffeic acid inhibits in vitro rooting in mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] hypocotyls by inducing oxidative stress. *Plant Growth Regulation*, **57**: 21–30.

- Singh, N.B., Sunaina, Yadav, K., Amist, N. (2013): Phytotoxic Effects of Cinnamic Acid on Cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, **9(2)**: 307–317.
- Sinha, R.N., Watters, F.L. (1985): Insect Pests of Flour Mills, Grain Elevators, and Feed Mills and Their Control, Agriculture Canada, Ottawa, Canada.
- Slavkovska, V., Zlatković, B., Bräuchler, C., Stojanović, D., Tzakou, O., Couladis, M. (2013): Variations of essential oil characteristics of *Clinopodium pulegium* (Lamiaceae) depending on phenological stage. *Botanica Serbica*, **37(2)**: 97–104.
- Soltys, D., Krasuska, U., Bogatek, R., Gniazdowska, A. (2013): Allelochemicals as Bioherbicides-Present and Perspectives, Herbicides – Current Research and Case Studies in Use, doi: 10.5772/56185.
- Spector, T. (1978): Refinement of the Coomassie blue method of protein quantitation. *Analytical Biochemistry*, **86**: 142–146.
- Stajčić, S. (2012): Visokovredna funkcionalna jedinjenja iz sporednih proizvoda prerade paradajza. *Doktorska disertacija*, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Stanković, Ž., Petrović, M., Krstić, B., Erić, Ž. (2006): Fiziologija biljaka, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, Srbija.
- Stevanović, J., Borožan, S., Jović, S., Ignatović, I. (2011): Fiziologija slobodnih radikala. *Veterinarski glasnik*, **65(1-2)**: 95–107.
- Stoiljković, Z., Mihajlović, D., Đokić-Nasković, D. (2004): HPLC određivanje ruzmarinske kiseline u suvom ekstraktu ruzmarina. *Zbornik Radova Tehnološkog Fakulteta*, **13**: 18–25.
- Strack, D. (1997): Phenolic metabolism, u: P.M. Dey, J.B. Harborne (ur.), *Plant Biochemistry*, p. 387–437, Academic Press, New York, USA.
- Stupnicka-Rodzynkiewicz, E., Dabkowska, T., Stoklosa, A., Hura, T., Dubert, F.H., Lepiarczyk, A. (2006): The effect of selected phenolic compounds on the initial growth of four weed species. *Journal of Plant Diseases and Protection*, **XX**: 479–486.

- Subramanyam, B., Hagstrum, D.W. (1995): Resistance measurement and management, u: B. Subramanyam, D.W. Hagstrum (ur.), "Integrated Management of Insects in Stored Products", p. 331–397, Marcel Dekker, New York, USA.
- Sunmonu, T.O., Van Staden, J. (2014): Phytotoxicity evaluation of six fast-growing tree species in South Africa. *South African Journal of Botany*, **90**: 101–106.
- Šilić, Č. (1979): Monografija rođova *Satureja* L., *Calamintha* Miller, *Micromeria* *Bentham*, *Acinos* Miller i *Clinopodium* L. u flori Jugoslavije, Zemaljski muzej, Sarajevo, Bosna i Hercegovina.
- Štajner, D., Milić-De Marino, N., Verešbaranji, A. (1998): Slobodni radikali u biološkim sistemima. *Pharmacia Jugoslavica*, **36**: 75–78.
- Štefan, L., Tepšić, T., Zavidić, T., Urukalo, M., Tota, D., Domitrović, R. (2007): Lipidna peroksidacija-uzroci i posledice. *Medicina*, **43**: 84–93.
- Šućur, J.** (2015): Biopesticidna aktivnost ekstrakata odabranih biljnih vrsta familije Lamiaceae. *Doktorska disertacija*, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Šućur, J.**, Prvulović, D., Malenčić, Dj., Djurić, S., Manojlović, A., Anačkov, G., Popov, M., Konstantinović, B. (2019): Aromatic plants in weed control: Influence on the bromus antioxidant system and soil microorganism growth. *Applied Ecology and Environmental Research*, **12(2)**: 2015–2031.
- Šućur, J.**, Prvulović, D., Manojlović, A., Anačkov, G., Malenčić, D. (2018): Influence of winter savory (*Satureja montana* L.) aqueous extract on antioxidant properties of Jimson weed (*Datura stramonium* L.). *Botanica Serbica*, **42(2)**: 271–275.
- Šućur, J.**, Popović, A., Petrović, M., Bursić, V., Anačkov, G., Prvulović, D., Malenčić, Dj. (2017a): Chemical composition of *Clinopodium menthifolium* aqueous extract and its influence on antioxidant system in black nightshade (*Solanum nigrum*) and pepper (*Capsicum annuum*) seedlings and mortality rate of whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) adults. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, **31(2)**: 211–222.

- Šućur, J., Đurić, S., Prvulović, D., Malenčić, Đ. (2017b): Ispitivanje uticaja vodenog ekstrakta *Satureja montana* L. na rast korisnih mikroorganizama. *Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta*, **41(2)**: 32–37.
- Šućur, J., Prvulović, D., Malenčić, Đ. (2017c): Oksidativni stres u sadnicama korova klasače (*Bromus mollis* L.) tretiranim vodenim ekstraktom *Satureja montana* L. *Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta*, **41(2)**: 45–50.
- Šućur, J., Gvozdenac, S., Anačkov, G., Malenčić Đ, Prvulović, D. (2016a): Allelopathic effects of *Clinopodium menthifolium* and *Salvia sclarea* aqueous extracts. *Matica Srpska Journal for Natural Sciences/Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*, **131(2)**: 177–188.
- Šućur, J., Prvulović, D., Anačkov, G., Malenčić, Đ. (2016b): Oxidative stress in bromus (*Bromus mollis* L.) seedlings treated with clary sage (*Salvia sclarea* L.) aqueous extract. *Biologica Nyssana*, **7(2)**: 141–144.
- Šućur, J., Prvulović, D., Anačkov, G., Malenčić, Đ. (2016c): The effect of *Satureja montana* L. aqueous extract on soybean seedlings. *Biologica Nyssana*, **7(2)**: 125–129.
- Šućur, J., Popović, A., Petrović, M., Anačkov, G., Bursić, V., Kiprovska, B., Prvulović, D. (2015a): Allelopathic effects and insecticidal activity of the aqueous extract of *Satureja montana* L.. *Journal of the Serbian Chemical Society*, **80(4)**: 475–484.
- Šućur, J., Popović, A., Petrović, M., Anačkov, G., Malenčić, Dj., Prvulović, D. (2015b): Allelopathic effects and insecticidal activity of *Salvia sclarea* L.. *Studia Universitatis Babes-Bolyai Seria Chemia*, **LX (1)**: 253–264.
- Taulavuouri, E., Hellström, E.K., Taulavuouri, K., Laine, K. (2001): Comparison of two methods used to analyse lipid peroxidation from *Vaccinium myrtillus* (L.) during snow removal, reacclimation and cold acclimation. *Journal of Experimental Botany*, **52(365)**: 2375–2380.
- Tongnuanchan, P., Benjakul, S. (2014): Essential Oils: Extraction, Bioactivities, and Their Uses for Food Preservation. *Journal of Food Science*, **79**: 1231–1249.

- Tucakov, J. (1996): Lečenje biljem, Rad, Beograd, Srbija.
- Uddin, M.R., Thwe, A.A., Kim, Y.B., Park, W.T., Chae, S.C., Park, S.U. (2013): Effects of Jasmonates on Sorgoleone Accumulation and Expression of Genes for Sorgoleone Biosynthesis in Sorghum Roots. *Journal of Chemical Ecology*, **39**:712–722.
- Veličković, J. (2013): Hemijska analiza i antioksidativna aktivnost ekstrakata odabranih biljnih vrsta bogatih fenolnim jedinjenjima. *Doktorska disertacija*, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Nišu.
- Vrbničanin, S., Kojić, M. (2000): Biološka i ekološka proučavanja korova na području Srbije. Razvoj, današnje stanje, perspektive. *Acta Herbologica*, **9(1)**: 41–59.
- Vučinić, M., Nedeljković-Tailović, J., Tailović, S., Ivanović, S., Milovanović, M., Krnjaić, D. (2011): Karvakrol kao ekološki insekticid i akaricid od značaja za humanu i veterinarsku medicinu. *Veterinarski glasnik*, **65**: 433–441.
- Vulić, J. (2012): Funkcionalne i Antioksidativne osobine tropa cvekle (*Beta vulgaris*). *Doktorska disertacija*, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Wang, J., Zhu, F., Zhou, X.M., Niu, C.Y., Lei, C.L. (2006): Repellent and fumigant activity of essential oil from *Artemisia vulgaris* to *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research*, **42**: 339–347.
- Weir, T.L., Park, S.W., Vivanco, J.M. (2004): Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. *Current Opinion in Plant Biology*, **7**: 472–479.
- Weiβhuhn, K., Prati, D. (2009): Activated carbon may have undesired side effects for testing allelopathy in invasive plants. *Basic and Applied Ecology*, **10**: 500–507.

- White, N.D.G., Leesch, J.G. (1995): Chemical control, u: B. Subramanyam, D.W. Hagstrum (ur.), "Integrated Management of Insects in Stored Products", p. 287–330, Marcel Dekker, New York, USA.
- Wójcicka, A. (2010): Cereal Phenolic Compounds as Biopesticides of Cereal Aphids. *Polish Journal of Environmental Studies*, **19(6)**: 1337–1343.
- Wu, H., Haig, T., Pratley, J., Lemerle, D., An, M. (2000): Allelochemicals in Wheat (*Triticum Aestivum* L.): Variation of Phenolic Acids in Root Tissues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **48**: 5321–5325.
- Yoshida, Y., Ito, N., Shimakawa, S., Niki, E. (2003): Susceptibility of plasma lipids to peroxidation. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, **305**: 747–753.
- Zeman, S., Fruk, G., Jeremić, T. (2011): Alelopatski odnosi biljaka: pregled djelujućih čimbenika i mogućnost primjene. *Glasnik zaštite bilja*, **34(4)**: 52–59.
- Zhang, H., Qiu, M., Chen, Y., Chen, J., Sun, Y., Wang, C., Fong, H.H.S. (2011): Plant terpenes. Phytochemistry and Pharmacognosy. Encyclopedia of Life Support Systems, <http://www.eolss.net/sample-chapters/c06/e6-151-05-00.pdf>.

Biografija autora



Dr Jovana T. Šućur je rođena 1987. godine u Novom Sadu. Završila je osnovnu školu „Đura Jakšić“ u Kaću kao dobitnica Vukove diplome, a zatim i gimnaziju „Svetozar Marković“ u Novom Sadu. Nakon završene gimnazije, 2006. godine upisuje diplomske

akademske studije na Prirodno-matematičkom fakultetu u Novom Sadu, odsek za hemiju, smer biohemija. Master rad pod nazivom „Citotoksični efekat 6-keto-D-homo-androstanskih derivata na tumorske ćelije“ odbranila je 2011. godine. Nakon odbranjenog master rada, 2011. godine upisuje doktorske akademske studije, odsek hemija, smer doktor biohemijskih nauka, na Prirodno-matematičkom fakultetu u Novom Sadu. Doktorsku disertaciju pod nazivom „Biopesticidna aktivost ekstrakata odabranih biljnih vrsta familije Lamiaceae“ odbranila je 2015. godine. Od 2016. godine zaposlena je na Departmanu za ratarstvo i povrtarstvo Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu na užoj naučnoj oblasti Hemija i biohemija. Od 2012. godine kontinuirano je angažovana na izvođenju nastave (vežbi) na predmetima iz uže naučne oblasti Hemija i biohemija. Ocenjena je visokim ocenama za pedagoški rad od strane studenata. Mentor je pet odbranjenih diplomskih radova i trenutno savetnik jedne doktorske disertacije u izradi. Autor je i koautor 55 publikacija u međunarodnim i domaćim naučnim časopisima, kao i na međunarodnim naučnim skupovima. Koautor je praktikuma Biohemija životinja. Aktivni je član Biohemiskog društva Srbije i Društva za zaštitu bilja Srbije. Učestvovala je na projektima finansiranim od strane Ministarstva nauke Republike Srbije, Pokrajinskog sekretarijata za nauku AP Vojvodine i jednom bilateralnom projektu.

СИР - Каталогизација у публикацији
Библиотеке Матице српске, Нови Сад

581.524.13:577.2(075.8)

ШУЋУР, Јована, 1987-

Sekundarni biomolekuli u alelopatiji : monografija / Jovana T. Šućur. - Novi Sad : Poljoprivredni fakultet, 2021 (Beograd : Donat graf). - 136 str. : ilustr. ; 30 cm. - (Edicija Monografija / Poljoprivredni fakultet, Novi Sad)

Autorkina slika. - Tiraž 20. - Biografija autora: str. 136. - Bibliografija.

ISBN 978-86-7520-528-9

a) Алелопатија -- Биомолекули

COBISS.SR-ID 42001161