



UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Eva INDIHAR

**SEKUNDARNI METABOLITI V RASTLINAH IZ
RODU *Pelargonium***

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2019

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Eva INDIHAR

SEKUNDARNI METABOLITI V RASTLINAH IZ RODU *Pelargonium*

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij - 1. stopnja

SECONDARY METABOLITES IN PLANTS FROM GENUS *Pelargonium*

B. SC. THESIS
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2019

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija Kmetijstvo – agronomija – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno na Katedri za sadjarstvo, vinogradništvo in vrtnarstvo.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorico diplomskega dela imenovala doc. dr. Jernejo Jakopič.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Metka HUDINA
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Članica: doc. dr. Jerneja JAKOPIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Članica: izr. prof. dr. Maja MIKULIČ PETKOVŠEK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora: 23. 8. 2019

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Du1
- DK UDK 635.9:582.752.3:547.972(043.2)
- KG sekundarni metaboliti, pelargonija, terpeni, flavonoidi
- AV INDIHAR, Eva
- SA JAKOPIČ, Jerneja (mentor)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Univerzitetni študijski program prve stopnje Kmetijstvo - agronomija
- LI 2019
- IN SEKUNDARNI METABOLITI V RASTLINAH IZ RODU *Pelargonium*
- TD Diplomsko delo (Univerzitetni študij - 1. stopnja)
- OP VI, 17 str., 3 pregl., 4 sl., 23 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Pelargonije so v Sloveniji ene izmed najbolj priljubljenih okrasnih rastlin, ki za svojo rast potrebujejo sončno do polsončno lego. Tekom zgodovine so gojitelji s pomočjo križanja dosegli veliko pestrost sort, zato jih posledično lahko kupimo v različnih barvah. V grobem jih delimo na pet večjih skupin. Poleg okrasne vrednosti pa pelargonije vsebujejo tudi mnogo sekundarnih metabolitov, ki skrbijo za obarvanost cvetov in značilen vonj pelargonij. Sekundarne metabolite delimo na terpene, fenole in dušik vsebujoče spojine. Znotraj pelargonij so do sedaj odkrili terpene in fenole, o dušik vsebujočih spojin pa ne poročajo. Med terpeni sta najbolj zastopana geraniol in citronelol. Od fenolov so v pelargonijah najbolj zastopani flavonoidi, od njih v večjih količinah izokvercetin, rutin, hiperozid in klorogenska kislina. Eterična olja in hidrolate, pridobljene iz pelargonij, se uporablja v kozmetični, agronomski, prehrambeni in farmacevtski industriji. Dokazano delujejo antifungicidno, antibakterijsko, antikancerogeno in antioksidativno. Pozitivne učinke izvlečkov pelargonije so poznali že v zgodovini, zato so jih uporabljali za zdravljenje diareje, ledvičnih boleznih in za znižanje visoke telesne temperature.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND Du1
- DC UDC 635.9:582.752.3:547.972(043.2)
- CX secondary metabolites, pelargonia, terpenes, flavonids
- AU INDIHAR, Eva
- AA JAKOPIČ, Jerneja (supervisor)
- PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy, Academic Study Programme in Agriculture - Agronomy
- PY 2019
- TI SECONDARY METABOLITES IN PLANTS FROM GENUS *Pelargonium*
- DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)
- NO VI, 17 p., 3 tab., 4 fig., 23 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB Pelargoniums are one of the most popular ornamental plants in Slovenia. For their growth they need sunny to half sunny position. Throughout the history growers have produced a great number of varieties with selection and crossing of *Pelargonium* plants, that is why they can be bought in many colours. We roughly divide them into five major groups. In addition to the decorative value, pelargoniums also contain many secondary metabolites which cause coloring of flowers and gives them characteristic odor of pelargonium. Secondary metabolites are divided into terpenes, phenolics and nitrogen-containing compounds. Terpenes and phenolics have been discovered so far in genus of *Pelargonium*, while nitrogen-containing compounds have not been reported. Among terpenes, geraniol and citronellol are most represented. The most numerous phenolics in *Pelargonium* are flavonoids which belong to the group of polyphenols. Isoquercetin, rutin, hyperoside and chlorogenic acid are the most abundant phenolics. Essential oils and hydrolysates derived from *Pelargonium* can be used in the cosmetic, agronomic, food and pharmaceutical industries. It has been proven that they possess antifungal, antibacterial, anticarcinogenic and antioxidant properties. The positive effects of pelargonium extracts have already been known in history, and they have been used to treat diarrhea, kidney disease and lowering of high body temperature.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO SLIK	VI
KAZALO PREGLEDNIC	VI
1 UVOD	1
2 PELARGONIJE (<i>Pelargonium</i>)	2
2.1 DELITEV PELARGONIJ	2
2.1.1 Pelargonije zonalke (<i>Pelargonium zonale</i>)	2
2.1.2 Pelargonije bršljanke (<i>Pelargonium peltatum</i>)	3
2.1.3 Pelargonije regalke (<i>Pelargonium grandifolium</i> , <i>Pelargonium domesticum</i>)	3
2.1.4 Dišeče pelargonije	3
2.1.5 Pelargonije unique	4
2.2 MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI PELARGONIJ	4
3 SEKUNDARNI METABOLITI	4
3.1 TERPENI	4
3.2 FENOLI	4
3.3 DUŠIK VSEBUJOČE SPOJINE	
4 SEKUNDARNI METABOLITI V PELARGONIJAH	5
4.1 TERPENI	5
4.1.1 Eterična olja	7
4.2 FENOLNE SNOVI	8
5 ANTIMIKROBNA AKTIVNOST	10
6 ANTIFUNGICIDNA AKTIVNOST	11
7 ANTIOKSIDATIVNA AKTIVNOST	11
8 ANTIKANCEROGENA AKTIVNOST	12
9 UPORABA PELARGONIJ V ZGODOVINI	12
10 ZAKLJUČEK	13
ZAHVALA	

KAZALO SLIK

	Str.
Slika 1: Pelargonije so ene izmed najbolj prodajanih balkonskih rastlin pri nas	2
Slika 2: <i>Pelargonium peltatum</i> 'Acapulco' ima tipične roza-bele cvetove	3
Slika 3: Geraniol	6
Slika 4: Osnovna strukturna formula flavonoidov	8

KAZALO PREGLEDNIC

	Str.
Preglednica 1: Delež posameznih terpenov v odstotkih glede na celotno količino terpenov v vrstah iz rodu <i>Pelargonium</i>	6
Preglednica 2: Delež posameznih snovi (v odstotkih) v eteričnem olju (mg/g) rastlin <i>P. graveolens</i>	7
Preglednica 3: Pojavljanje določenih fenolov v vrstah iz rodu <i>Pelargonium</i> iz raziskav, opravljenih leta 2007 in 1999	9

1 UVOD

Pelargonije so okrasne rastline, ki jih najdemo skoraj na vsakem slovenskem balkonu, terasi ali vrtu, ker so zaradi svoje nezahtevnosti ene izmed najbolj priljubljenih okrasnih rastlin pri nas. Za svojo uspešno rast potrebujejo zmerno zalivanje in sončno do polsenčno lego. Kljub preprosti negi, ki jo potrebujejo, skozi celotno rastno dobo cvetijo (od pomladi do pozne jeseni). Prav zato so pelargonije skozi leta postale tako priljubljene, čeprav je na tržišču široka paleta balkonskega cvetja, ki pa je pogosto zahtevnejše za gojenje. Zaradi vsega naštetega se marsikdo odloči za nakup in vzgojo pelargonij. Njihova priljubljenost je verjetno pogojena tudi s tem, da jih je preprosto razmnoževati in jih je možno kupiti v številnih barvah, saj so gojitelji do zdaj skrižali res veliko sort.

Snovi v rastlini delimo na primarne in sekundarne metabolite. Primarni metaboliti so organske spojine, ki skrbijo za rast, razvoj in razmnoževanje rastline, torej skrbijo za primarne življenjske funkcije. Sekundarni pa privabljajo opraševalce in prenašalce, preprečujejo vdor mikroorganizmov (bakterije, virusi, glive, nematode..) in ščitijo samo rastlino pred napadom herbivorov. V grobem jih delimo na tri večje skupine: terpeni, fenoli in dušik vsebujoče spojine. Vsak izmed metabolitov ima v rastlini svojo nalogo (Veberič, 2010).

Pelargonije pa niso zgolj okrasne rastline. Tudi v njih poleg primarnih najdemo še sekundarne metabolite (npr. citronelol, geraniol, flavonoide...). Le-ti skrbijo za pravilno delovanje rastline, privabljanje opraševalcev ter obarvanje cvetov. Zaradi sekundarnih metabolitov imajo pelargonije tudi svoj specifični vonj. Nekaterim snovem v rastlinah iz rodu *Pelargonium* so že dokazali antifungicidno, antibakterijsko in antioksidativno delovanje, zato so pelargonije zanimive tudi iz tega stališča. Eterična olja, pridobljena iz rastlin tega rodu, se uporabljajo v prehrabeni, kozmetični in farmacevtski industriji (Latté in Kolodziej, 2004; Podgornik Reš, 1998).

Namen tega diplomskega dela je ugotoviti, katere sekundarne metabolite lahko najdemo v pelargonijah, kakšna delovanja so bila z leti že zaznana ter na podlagi raziskav oceniti, na katerih področjih bi določene izvlečke še lahko uporabljali.

2 PELARGONIJE (*Pelargonium* sp.)

Poznamo približno 250 vrst pelargonij, večina jih prihaja iz južne ali jugozahodne Afrike, nekaj pa jih izvira tudi iz Avstralije, Male Azije in Saudske Arabije. Okoli leta 1700 so pelargonije prvič prišle na evropska tla. Kmalu so žlahtnitelji začeli z ustvarjanjem križancev, zato smo do leta 2011 poznali že 250 sort (Saraswathi in sod., 2011; Podgornik Reš, 1998).

2.1 DELITEV PELARGONIJ

želji po novih barvah in oblikah so gojitelji razvili veliko sort. Zaradi samih križanj znotraj rodu je prišlo do velikih vizualnih sprememb, zato širok sortiment pelargonij delimo na pet večjih skupin.

2.1.1 Pelargonije zonalke (*Pelargonium zonale*)

Za njih so značilni okrogli ledvičasti listi, ki imajo na sredini temneje obarvan del oz. cono, po katerem so dobile tudi samo ime. Cvetovi so lahko enostavni ali polvrstnati, včasih tudi popolnoma vrstnati (Slika 1). Znotraj te skupine najdemo tudi pisanoliste pelargonije, ki so se zaradi križanja pojavile v 2. polovici 20. stoletja. T. i. zonalke z enojnimi cvetovi so zelo odporne na dež in dobro uspevajo na sončnih legah, zato jih pogosto srečamo na balkonih v kombinaciji z ostalim balkonskim cvetjem (Podgornik Reš, 1998).

Pokončne pelargonije, kot jih tudi imenujemo, tako skupaj z bršljankami (*Pelargonium peltatum*), mačehami (*Viola wittrockiana*), gomoljasto begonijo (*Begonia tuberhybrida*) in strukturnimi rastlinami sodijo med pet najbolj prodajanih okrasnih rastlin v Sloveniji, po podatkih iz raziskave, kjer je sodelovalo 49 slovenskih vrtnarjev. Raziskava je bila izvedena leta 2010 (Šegula in Udovč, 2010).



Slika 1: Pelargonije so ene izmed najbolj prodajanih balkonskih rastlin pri nas

2.1.2 Pelargonije bršljanke (*Pelargonium peltatum*)

Ta vrsta pelargonij ima poleglo rast in v dolžino zraste do 1,5 m. Ljudje jo poznajo pod imenom bršljanika. Ima krhke in lomljive stebelne členke. Njeni listi so okrogli, sočni in malo odebeljeni, podobni so bršljanu, po katerem je dobila tudi ime. Njeni cvetovi so manjši in najdemo jih v veliko različnih barvah (Slika 2). Najstarejša sorta prihaja iz te skupine in ima ime 'Ville de Paris'. K nam je prišla iz Avstrije po letu 1950, zato ji še danes pravimo "avstrijka" (Podgornik Reš, 1998).



Slika 2: *Pelargonium peltatum* 'Acapulco' ima tipične roza-bele cvetove

2.1.3 Pelargonije regalke (*Pelargonium grandiflorum*, *Pelargonium domesticum*)

Mednje sodijo pelargonije z grmičastjo rastjo, za katere so značilni okrogli do jajčasti listi, temno zelene barve. Imajo izrazite žile in nazobčan listni rob. Cvetovi so lahko različnih barv, večkrat tudi večbarvni s prelivanjem. Ena izmed bolj poznanih sort te skupine je angleška oz. velikocvetna pelargonija. Zaradi velikih trobentastih cvetov se ne priporoča sajenje na prosto, ker jih veter in ostale vremenske razmere hitro poškodujejo. Največkrat jih posledično vidimo v zasaditvah pod streho (Podgornik Reš, 1998).

2.1.4 Dišeče pelargonije

Vrste znotraj te skupine so dobile tako ime, saj njihovi listi dišijo po vrtnicah, meti, limoni ali po drugih začimbah. Njihovi cvetovi so majhni, velikokrat nepravilnih oblik. Dišeče pelargonije so pomembne tudi zaradi vsebnosti eteričnega olja, ki se uporablja v farmacevtski in parfumski industriji. Najbolj znana rastlina v tej skupini je t. i. roženkravt. Zaradi njihovega značilnega vonja jih škodljivci ne napadajo, prav tako pa njihove liste lahko uporabljamo v kulinariki, saj so užitni (Podgornik Reš, 1998; Heitz, 2007).

2.1.5 Pelargonije unique

Sem sodijo polgrmičaste sorte, ki so visoko rastoče. Sami cvetovi se razvijajo skozi celotno rastno dobo, od spomladi do pozne jeseni. Listi so lahko različnih oblik, nekatere sorte tudi dišijo. Pelargonije unique imajo enojne cvetove, tako kot pelargonije regalke (Podgornik Reš, 1998).

2.2 MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI PELARGONIJ

Oblika listov posameznih sort pelargonij se razlikuje po obliki in velikosti. Lahko dosežejo velikost do 38 cm ali pa so manjši, v velikosti kovanca. Površina listov je lahko rahlo dlakava in svilena ali pa malo lepljiva. Lahko so enobarvni ali pa večbarvni, prav tako pa velikokrat dišijo po limoni, jagodi, meti... Cvetovi pelargonij so številnih barv, od bele in rdeče do bolj eksotičnih, skoraj črnih. Prav tako so lahko enobarvni ali večbarvni. Za njih je značilno, da cvetijo skozi celotno rastno dobo. Okrasno vrednost imajo lahko cvetovi ali pa tudi listi, ki z različnimi barvnimi kombinacijami krasijo slovenske balkone (Hofman, 1992; Kovačič, 2010).

3 SEKUNDARNI METABOLITI

Rastline v njihovem okolju obkroža veliko organizmov, pred katerimi se ne morejo umakniti tako kot živali. Zato so razvile varovalni sistem, katerega del so tudi sekundarni metaboliti. To so biokemične snovi, ki primarno niso potrebne za samo preživetje, rast in razvoj rastlin. Skupaj s kutikulo in peridermom preprečujejo vstop bakterij, virusov, gliv, insektov, nematod in ostalih herbivornih organizmov. Prav tako pa skrbijo za obarvanost delov rastlin (npr. antocianini) in nudijo strukturno oporo (npr. lignin) ter privabljajo opraševalce (npr. flavonoidi). Sekundarne metabolite delimo na tri večje skupine: terpeni, fenoli in dušik vsebujoče spojine (Taiz in Zeiger, 2002; Veberič, 2010).

3.1 TERPENI

Terpeni so številčno in strukturno najbolj pestri rastlinskimi produkti. S svojim delovanjem nudijo zaščito pred insekti, so sestavni deli eteričnih olj (mentol, limonen) in smol (taksol, abietinska kislina), skrbijo pa tudi za celjenje ran. V rastlini imajo vlogo feromonov in hormonov, ki se pojavljajo v juvenilni fazi rasti (Veberič, 2010).

3.2 FENOLI

Fenoli so pogosto atraktanti za opraševalce in prenašalce, nudijo mehansko oporo in UV zaščito. So indikatorji stresa v rastlini, povzročena zaradi variacije svetlobe. Sodelujejo pri vseh odzivih rastline na biotske in abiotske dražljaje. Visoko so koncentrirani v epidermu

listov in kožici sadja. Mednje štejemo tanine oz. čreslovine (povzročajo trpek okus in s tem ščitijo rastlino pred herbivori), antocianine (skrbijo za obarvanost cvetov), lignin in suberin (skrbita za stabilnost in oporo v rastlini) itd. V grobem jih delimo na dve skupini: flavonoidi in ne-flavonoidi (Veberič, 2010).

3.3 DUŠIK VSEBUJOČE SPOJINE

Za nastanek sekundarnih spojin, ki vsebujejo dušik, so ključnega pomena aminokislina. Skrbijo za obrambo pred herbivori. V to skupino spadajo alkaloidi (nikotin, morfin...), cianogeni glikozidi (ko pride do mehanske poškodbe, se razgradijo in sprostijo se toksične snovi, ki škodujejo škodljivcem), glukozinolati (skrbijo za trpek okus in varujejo rastlino pred herbivori) in neproteinske aminokislina (Veberič, 2010).

4 SEKUNDARNI METABOLITI V PELARGONIJAH

Kljub temu, da so pelargonije res najpogosteje uporabljene kot okrasne rastline, se jih že od nekdaj uporablja tudi v medicinske namene. Tako so *Pelargonium antidysenterica* uporabljali že okoli leta 1600 in kot to sporoča njeno latinsko ime, so jo uporabljali za zdravljenje vročice in tudi diareje (Brendler in van Wyk, 2008).

V pelargonijah najdemo snovi iz skupin terpenov in fenolnih spojin, o spojinah iz skupine dušik vsebujočih spojin pa ne poročajo. V pelargonijah tako najdemo derivate cimetine kisline, kumarine, flavonoide, proantocianine, fitosterole itd. Sekundarne metabolite najdemo v vseh delih rastline, od korenin preko listov in stebel do cvetov (Brendler in van Wyk., 2008; Kolodziej, 2007).

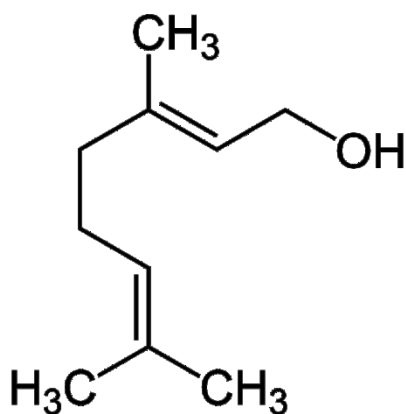
Antibakterijske in antivirusne učinke pripisujejo galni kislini in ostalim fenolom, imunomodularne lastnosti pa se predvidevajo, da so prisotne zaradi kombinacije fenolnih enot in številnih kumarinov (Brendler in van Wyk, 2008).

4.1 TERPENI

V rastlini *P. graveolens* se v listih in steblih nahaja največ terpenov. Najbolj zastopana sta geraniol (Slika 3) in citronelol (ki sta kombinacija terpena in alkohola), sledijo pa tudi ostali terpeni. Količina komponent v izvlečkih je odvisna tudi od izvora same rastline. Pelargonije iz Azije in Evrope imajo največjo vsebnost geraniola in so znane kot geraniolni kemotip, pri čemer imajo tiste iz Azije manjšo vsebnost geraniola kot sorte iz Evrope. Rastline, ki izvirajo iz Afrike, pa imajo najvišjo vsebnost izomentona in linalola (Ćavar in Maksimović, 2012).

V pelargonijinih listih je pri vrsti *Pelargonium sidoides* količina eteričnega olja znašala 0,52 % suhe mase rastline (sušine). To so določili s pomočjo hidrodestilacije (način pridobivanja

aromatičnih snovi s pomočjo vodne pare, ki nase veže le-te in jih tako loči od ostalih produktov v rastlini). V samem izvlečku so preko GLC (plinsko-tekočinska kromatografija) in GC-MS analize (plinska kromatografija z masno spektrometrijo) odkrili 102 različni komponenti, med njimi je bilo največ terpenov. Izvleček jih je vseboval 60 %, od tega je bilo kariofilena 2,3 %, kariofilenskega epoksida pa 13,0 %. V samem olju so bili odkriti še monoterpeni (16,0 %), fenolpropanoidi (9,0 %), od tega metilevgenol in elemicin v največjih količinah (Brendler in van Wyk, 2008).



Slika 3: Geraniol (Geraniol, 2019).

V raziskavi, izvedeni leta 2018, je bilo vključenih več vrst iz rodu *Pelargonium*, med drugimi tudi *P. capitatum*, *P. graveolens* in *P. radens* (Preglednica 1). Največji del terpenov predstavlja citronelol, vendar le v rastlinah *P. capitatum* in *P. graveolens*. Iz rezultatov lahko sklepamo, da je vsebnost posamezne snovi odvisna od posamezne vrste znotraj rodu *Pelargonium* (Blerot in sod., 2018).

Preglednica 1: Delež posameznih terpenov v odstotkih glede na celotno količino terpenov v sveži masi rastlin iz rodu *Pelargonium* (Blerot in sod., 2018).

Snov	<i>P. capitatum</i>	<i>P. graveolens</i>	<i>P. radens</i>
Citronelol	26,68	40,85	0,00
Geraniol	0,21	17,89	0,00
Pinen	0,61	0,40	0,00
Mircen	0,00	0,00	1,18
Linalol	0,00	0,00	0,50

V rastlinah znotraj rodu *Pelargonium* tako najdemo številne terpe, vendar razmerja med njimi niso povsod enaka (Preglednica 2). V raziskavi, iz leta leta 2018 so tako v izvlečku iz rastline *P. graveolens* odkrili 40,85 % citronelola, v drugi raziskavi, opravljeni šest let prej, pa 36,40 %. Pri geraniolu je prišlo do odstopanja za 7,19 %. Do določenih razlik med raziskavami je verjetno prišlo zaradi različne opreme in postopkov ekstrakcije. Rezultati pa

so odvisni tudi od izvora rastlin in zunanjih pogojev, ki vplivajo na količino sekundarnih metabolitov v rastlinah (Blerot in sod., 2018; Ghannadi in sod., 2012).

Preglednica 2: Delež posameznih snovi (v odstotkih) v eteričnem olju (mg/g) rastlin *P. graveolens* (Blerot in sod., 2018; Ghannadi in sod., 2012).

SNOV	Blerot in sod., 2018	Ghannadi in sod., 2012
Pinen	0,40	1,00
Linalol	0,00	5,10
Menton	5,85	7,30
Citronelol	40,85	36,40
Geraniol	17,89	10,70
α -terpineol	0,00	0,40
Mircen	0,00	NP
β -kariofilen	NP	3,40
Geranil acetat	NP	1,50
Citronelil format	NP	12,10
Geranil format	NP	2,60

NP = ni podatka

4.1.1 Eterična olja

Eterična olja so naravne hlapne snovi, ki jih najdemo v rastlinah kot sekundarne produkte, saj služijo kot zaščita pred virusi, bakterijami, glivami in žuželkami. Prav tako privabljajo opaševalce in prenašalce semen. Do sedaj poznamo okoli 3000 različnih vrst eteričnih olj, ki jih pridobivamo iz najmanj 2000 različnih rastlinskih vrst, ljudje pa jih uporabljamo okoli 300. Uporabljamo jih v farmacevtski, agronomski, prehrabeni, kozmetični in sanitarni industriji. Včasih so eterična olja uporabljali zaradi antimikrobnega in analgetskega učinkovanja in za konzerviranje hrane, danes pa se intenzivno preučuje antioksidativno, antitumorno, antifungicidno in antibakterijsko delovanje le-teh. Ker se v svetu pojavlja vedno več odpornosti organizmov na današnja zdravila zaradi zlorabe protimikrobnih zdravil, je skrb toliko večja in raziskovanje naravnih eteričnih olj pospešeno (Ghannadi in sod., 2012).

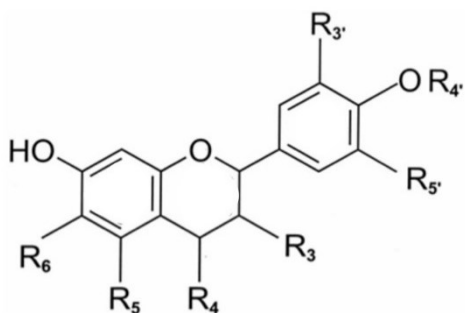
Zadnja leta javnost daje prednost naravnim zdravilom pred sintetičnimi, zato se je samo raziskovanje eteričnih olj tudi pospešilo. Velja tudi prepričanje, da so naravni proizvodi manj škodljivi za zdravje in cenejši za samo pridobitev (Čavar in Maksimović, 2012).

Med eteričnimi olji, pridobljenimi iz rastlin rodu *Pelargonium*, lahko najdemo malo manj kot 230 različnih komponent. Mednje sodijo terpeni (citronelol, geraniol, menton, pinen, limonen, germakren, kariofilen itd.), estri, aldehidi, ketoni, fenoli, tanini. Med rastlinami *P. graveolens*, vzgojenimi v Bosni, so v raziskavi leta 2012 s pomočjo GC-MC analize odkrili več kot 80 različnih snovi v eteričnih oljih, pridobljenih iz rastlin v raziskavi. Sama olja so pridobili iz listov in stebel. Največ je bilo oksidiranih monoterpenov (70 %), od tega sta bila v ospredju geraniol in citronelol (Čavar in Maksimović 2012).

4.2 FENOLNE SNOVI

Fenolne snovi v grobem delimo na flavonoide, fenolne kisline in neflavonoidne polifenole. Flavonoidi so sekundarni metaboliti, ki sodijo v skupino polifenolov, ki se nahajajo samo v rastlinah. Sestavljata jih dva aromatska obroča, povezana s heterocikličnim obročem (Slika 4). Flavonoide delimo še v različne podskupine, ki se med seboj razlikujejo po radikalih, pripetih na osnovno strukturo. Mednje sodijo flavanoli, flavanoni, flavoni, izoflavoni, flavonoli in antocianidini (Veberič, 2010).

Flavonoidi delujejo protivnetno in antioksidativno, znani pa so tudi kot diuretiki. Prav tako delujejo antimikrobno. Znotraj rodu *Pelargonium* so med flavonoidi najštevilčnejši flavonoli, ki se nahajajo v vakuolah (Bakker in sod., 2004).



Slika 4: Osnovna strukturna formula flavonoidov (Veberič, 2010)

Fenolne kisline so prav tako aromatski sekundarni metaboliti v rastlinah. Spadajo med enostavne fenole. Na njihovo osnovno verigo je pripeta ena karboksilna skupina. Naprej jih delimo še na hidrosimetne kisline in hidrosibenzojske kisline. V rastlinah imajo vpliv na antioksidativne in prehranske lastnosti (Rodriguez in sod., 2008).

Na Fakulteti za farmacijo in biokemijo, Univerze v Zagrebu, je bila izvedena raziskava, v kateri so preiskovali antimikrobno aktivnost flavonoidov, pridobljenih iz eteričnega olja rastline *Pelargonium radula*. Najbolj zastopana flavonoida sta bila izokvercetin in rutin. Zaznana sta bila tudi hiperozid in klorogenska kislina. Slednja sodi med ne-flavonoide. Samo aktivnost so ugotavljali na 22 različnih mikroorganizmih, od tega je bilo 11 bakterij, 6 kvasovk, 2 plesni in 3 dermatofilni sevi. Izkazalo se je, da flavonoidi občutno vplivajo na intenzivnost antimikrobne aktivnosti celotne rastline (Pepeljnjak in sod., 2005).

Raziskava, izvedena leta 2007, je bila opravljena na izvlečkih iz korenin *P. reniforme* in *P. sidoides* (Preglednica 3). V raziskavi iz leta 1999 pa so preiskovali izvlečke iz listov *P. reniforme* in *P. sidoides*. Med pomembnejšimi flavonoidi, katerih prisotnost so preverjali v

obeh raziskavah, so bili miricetin, kvercetin, luteolin in kempferol, med fenolnimi kisljinami pa so preverjali prisotnost galne in vanilne kisline (Kolodziej, 2007; Williams in sod., 1999).

Iz njihovih rezultatov lahko sklepamo, da kempferol ni prisoten v *P. sidoides*, je pa prisoten v izvlečkih *P. reniforme*. Prav tako najdemo kempferol v drugih vrstah iz rodu *Pelargonium* (najdemo ga v listih *P. quercifolium*). Miricetin pri vrsti *P. reniforme* najdemo v koreninah, v listih pa ne. V *P. sidoides* pa miricetina ne poročajo. Flavonoid luteolin so odkrili v listih obeh vrst, v koreninah pa je bil prisoten le pri *P. sidoides*. Kvercetin je prisoten v vseh delih rastline *P. reniforme*, pri drugih vrstah pa ga najdemo samo v listih. V raziskavi, opravljeni leta 2015, pa so raziskovali prisotnost fenolnih kislin v *P. sidoides*. Galno in vanilno kislino so odkrili v vseh vzorcih, poleg tega pa so odkrili še salicilno kislino. Do razlik v rezultatih je verjetno prišlo zaradi različnih laboratorijskih tehnik in opreme ter zaradi različnega izvora posameznih rastlin, ker na njihov razvoj vplivajo tudi zunanji dejavniki, kot so količina vode, razpoložljive svetlobe in drugi (Kolodziej, 2007; Williams in sod., 1999; Kumar in sod., 2015).

Preglednica 3: Prisotnost določenih fenolov v vrstah iz rodu *Pelargonium* (Kolodziej, 2007; Williams in sod., 1999; Kumar in sod., 2015).

SNOV	Kolodziej, 2007		Williams in sod., 1999		Kumar in sod., 2015
	<i>P. reniforme</i>	<i>P. sidoides</i>	<i>P. reniforme</i>	<i>P. sidoides</i>	<i>P. sidoides</i>
Fenolne kisline					
Galna kislina	+	+	+	+	+
Vanilna kislina	+	-	NP	NP	+
Flavonoidi					
Miricetin	+	-	-	-	NP
Kvercetin	+	-	+	+	NP
Luteolin	-	+	+	+	NP
Kaempferol	+	-	+	-	NP

+ = zaznana snov; - = snov ni zaznana; NP = ni podatka

Rezultati kažejo tudi, da so izvlečki, pridobljeni iz *P. sidoides*, potencialni vir za pridobivanje fenolnih kislin. S pomočjo rastlinskih regulatorjev so tudi uspešno vplivali na sintezo in količino fenolnih kislin v samih rastlinah (Kumar in sod., 2015).

Vsebnost fenolov v rastlinah *P. sidoides* je odvisna od dela rastline, ki je analiziran. To je bilo dokazano v raziskavi, kjer so s pomočjo kloniranja *in vitro* namnožili rastline in jih gojili v rastlinjaku, s kasnejšo analizo UPLC-MS/MS (tekočinska kromatografija ultra visoke ločljivosti s tandemsko masno spektrometrijo) pa to tudi potrdili. Potrdili so, da za pridobivanje fenolnih snovi niso primerni le gomolji, ampak tudi nadzemni deli rastlin (Moyo in sod., 2013).

5 ANTIMIKROBNA AKTIVNOST

Ekstraktu pelargonije so dokazali njegovo antibakterijsko aktivnost (proti bakterijam *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis*, *Pseudomonas aeruginosa* in *Haemophilus influenza*). Prav tako deluje antifungicidno (dokazano proti glivam *Microsporum canis*, *Microsporum gypseum*, *Aspergillus fumigatus*, *Mucor racemosus*, *Rhizopus nigricans*) in antibakterijsko. Izvlečki določenih rastlin znotraj rodu *Pelargonium* (npr. *P. glutinosum*, *P. pseudoglutinosum* in *P. scabrum*) delujejo na Gram – pozitivne (npr. *Bacillus cereus*) in Gram – negativne bakterije (npr. *K. pneumonia*). Prav tako antibakterijsko delujejo eterična olja nekaterih vrst pelargonij (Saraswathi in sod., 2011).

Metanolni, acetonski in vodni izvlečki iz korenin in listov *P. reniforme* kažejo učinkovitost pri delovanju proti gramnegativnim in grampozitivnim bakterijam, pri čemer imajo izvlečki iz korenin boljši učinek na grampozitivne bakterije kot pa izvlečki iz listov. Na bakterije delujejo tako, da zaustavljajo oz. upočasnijo njihovo rast in razvoj (Saraswathi in sod., 2011).

V raziskavi, opravljeni leta 2005, so v eteričnem olju odkrili visoko koncentracijo α -pinena, β -pinena in limonena, ki prav tako zaustavljajo rast mikroorganizmov. Flavonoidi, pridobljeni s pomočjo perkolacije (ekstrakcija rastlinske droge s stalnim dovajanjem topila zgoraj in odvajanjem perkolata spodaj) suhih listov rastline *Pelargonium radula*, so uspešno inhibirali rast mikroorganizmov. V eksperiment je bilo vključenih 11 bakterij, 6 kvasovk, 2 plesni in 6 dermatofitnih vrst gliv. Najbolj uspešni so bili pri zatiranju bakterij, saj so zmanjšali rast pri desetih primerih od dvanajstih. Kvasovke so se izkazale kot dokaj odporne na prisotnost flavonoidov, sevi gliv pa so zaradi flavonoidov prenehali z razmnoževanjem (Pepeljnjak in sod., 2005).

Izvlečki iz *P. reniforme* so bili že včasih uporabljeni pri zdravljenju bakterijskih infekcij (npr. bolezni jeter). V raziskavi, kjer so uporabili metanolni, acetonski in vodni izvleček iz korenin in listov *P. reniforme*, so uspešno dokazali antibakterijsko aktivnost na vseh sodelujočih bakterijah z izjemo bakterije *Streptococcus faecalis*. Vse učinkovine so pokazale boljše rezultate pri grampozitivnih bakterijah. Bakterija *E. coli* (gramnegativna bakterija) pa je bila na vse uporabljene izvlečke odporna (Adewusi in Afolayan, 2009).

Eteričnim oljem (predvsem monoterpenom, ki so njihov sestavni del) iz rastlin rodu *Pelargonium* je dokazano, da imajo močnejše antimikrobno kot pa antifungicidno delovanje. Geraniol učinkovito deluje proti živalskim in rastlinskim patogenom, kot sta *E. coli* in *Salmonella typhimurium*. Ker eterično olje pelargonije deluje antibakterijsko, se ga uporablja tudi za podaljševanje roka uporabnosti hrane, pijače, kozmetičnih in farmacevtskih izdelkov (Si in sod., 2006; Pepeljnjak in sod., 2005).

6 ANTIFUNGICIDNA AKTIVNOST

Acetonski, metanolni in vodni izvlečki iz rastline *P. reniforme* so pokazali izjemno antifungicidno aktivnost, metanolni in vodni izvlečki sta pri nekaterih glivah celo popolnoma zaustavila njihovo razvoj in rast. Sama učinkovitost izvlečkov pa je odvisna od koncentracije, pri višji je seveda učinek močnejši. Dokazano je bilo, da so ekstrakti iz listov učinkovitejši kot ekstrakti iz korenin (Adewusi in Afolayan, 2009).

7 ANTIOKSIDATIVNA AKTIVNOST

Polifenoli so največja skupina z antioksidativno aktivnostjo, to pa zaradi njihovih redoks lastnosti, ki pomagajo pri sprejemanju prostih radikalov. Le-ti imajo pomembno vlogo pri procesih staranja, pri boleznih kot so rak, multipla skleroza, srčne bolezni itd. (Latté in Kolodziej, 2004).

Prisotnost fenolov v listih in koreninah *P. reniforme* je razlog za večjo antioksidativno aktivnost hidrolatov. Flavonoidi in hidrolizirajoči tanini, ki so bili izolirani iz *P. reniforme*, so imeli večjo antioksidativno aktivnost kot askorbinska kislina (Saraswathi in sod., 2011).

Za uporabo ekstrakta kot vir antioksidantov bi lahko uporabljali izvlečke iz mnogih vrst znotraj rodu *Pelargonium*. Kot primer, izvlečki iz vrst *P. betulinum*, *P. crispum*, *P. tomentosum* in *P. cordifolium* bi bili primerni, saj ekstrakti, narejeni iz teh vrst, niso bili toksični in bi bili primerni za uporabo v prehrani človeka (Saraswathi in sod., 2011).

Uživanje hrane, kateri bi bilo dodano eterično olje *P. graveolens* (pridobljeno s pomočjo destilacije), bi lahko imelo dober učinek na človekovo zdravje, saj le-to vsebuje veliko količino antioksidantov. Sama antioksidativna aktivnost je odvisna od kemične sestave eteričnega olja (Ćavar in Maksimović, 2012).

8 ANTIKANCEROGENA AKTIVNOST

Številni monoterpeni v eteričnem olju, pridelanem iz *Pelargonium graveolens*, delujejo proti razvoju tumorjev, ki bi lahko bili kancerogeni. Preprečujejo razvoj kožnega raka, prav tako pa tudi raka na želodcu, pljučih in jetrih. To je bilo dokazano na testnih podganah (Chen in Viljoen, 2010).

Geraniol je pokazal antikancerogeno aktivnost *in vitro* ter *in vivo* pri številnih oblikah raka, ki se pojavljajo pri ljudeh. Prav tako zavira rast celic, ki vodijo v razvoj tumorja pri ljudeh in upočasnjuje rast in razvoj hepatomskih in melanomskih celic. Samo upočasnjevanje rasti celic je povezano z delovanjem geraniola na reduciranje DNA sintaze (Chen in Viljoen, 2010).

9 UPORABA PELARGONIJ V ZGODOVINI

V antiki so korenine pelargonij uporabljali za zdravljenje malarije, vnetja želodca in za zdravljenje motenj v maternici. Bolniki s povišano telesno temperaturo so liste žvečili ali pa zaužili pripravke v prahu, ki so jih primešali v hrano. Uživali so tudi gomolje pelargonij, ki so jih predhodno povreli v mleku (Saraswathi in sod., 2011).

Pelargonije so zaradi kurativnih vplivov uporabljali tudi zdravilci v Afriki, od koder pelargonije izhajajo. Z njimi so zdravili diarejo, ledvične bolezni, infekcije v prebavnem traktu, zbijali visoko temperaturo v telesu itd. Prvič je bila uporaba etanolnega ekstrakta iz korenin dveh sort pelargonije v Nemčiji zaznana leta 1980 (po podatkih World Health Organization). Pripravek je bil predstavljen pod imenom Umckaloabo in so ga uporabljali za infekcijska vnetja nosu in prebavnega trakta (Saraswathi in sod., 2011).

Eterično olje pelargonije se že od nekdaj uporablja za blaženje simptomov anksioznosti, jeze, insomnije, nižanje krvnega tlaka in holesterola. Ker ima visoko antioksidativno aktivnost, krepi imunski sistem in stimulira ter čisti limfni sistem (Saraswathi in sod., 2011).

10 ZAKLJUČEK

Pelargonije so tipične okrasne balkonske rastline, ki jih najdemo v številnih gospodinjstvih, saj so zaradi svoje nezahtevnosti in prilagodljivosti zaželjene rastline. Posledično se je v zgodovini razvilo veliko sort, ki imajo določene lastnosti še bolj izražene kot ostale. Zaradi številčne pestrosti jih, glede na njihove skupne lastnosti, delimo v skupine.

Sekundarni metaboliti so, poleg primarnih metabolitov, prav tako nujni za preživetje rastline. Čeprav ne skrbijo za primarne potrebe, omogočajo rastlini, da privablja opraševalce in se brani pred herbivori. Sekundarne metabolite delimo na tri večje skupine. To so terpeni, fenoli in dušik vsebujoče snovi.

Pelargonije vsebujejo veliko sekundarnih metabolitov, ki skrbijo, da so njihovi cvetovi značilno obarvani, samim rastlinam pa dajo tudi specifičen vonj, ki ga zaznamo samo pri pelargonijah. Med njimi najdemo terpene, fenole (predvsem flavonoide), o dušik vsebujočih snoveh pa do zdaj še ne poročajo. V raziskavah so bile odkrite številne snovi: derivati cimetine kisline, kumarini, flavonoidi, proantocianini, fitosteroli itd. Sekundarne metabolite v pelargonijah najdemo v vseh rastlinskih delih, od korenin do cvetov. Količina snovi je odvisna tudi od izvora rastline.

Izvlečke iz pelargonij (eterično olje, hidrolat) bi lahko vključevali v različnih vrstah industrije (prehranska, farmacevtska, kozmetična, ...), saj dokazano delujejo antifungicidno, antikancerogeno in antimikrobno. Izvlečki so naravnega izvora, zato so za uporabo v različnih industrijah pogosto bolj sprejemljivi in učinkoviti kot sintetični pripravki. Glede na visoko vsebnost številnih sekundarnih metabolitov v izvlečkih iz celotne rastline, bi bilo z dodatkom le-teh morda možno celo izboljšati kakovost nekaterih živil.

11 VIRI

- Adewusi E. A., Afolayan A. J. 2009. Antibacterial, antifungal and antioxidant activity of the roots and leaves of *Pelargonium reniforme* Curtis (Geraniaceae). African Journal of Biotechnology, 8, 22: 6425-6433
- Bakker F.T., Culham A., Hettiarachi P., Touloumenidou T., Gibby M. 2004. Phylogeny of *Pelargonium* (Geraniaceae) based on DNA sequences from three genomes. The Journal of the International Association for Plant Taxonomy, 53, 1: 17-28
- Blerot B., Martinelli L., Prunier C., Saint-Marcoux D., Legrand S., Bony A., Sarrabere L., Gros F., Boyer N., Caissard J., Baudino S., Jullien F. 2018. Functional analysis of four terpene synthases in rose-scented pelargonium cultivars (*Pelargonium* × *hybridum*) and evolution of scent in the pelargonium genus. Frontiers in Plant Science, 9: 1435, doi: 10.3389/fpls.2018.0143: 18 str.
- Brendler T., van Wyk B.-E. 2008. A historical, scientific and commercial perspective on the medicinal use of *Pelargonium sidoides* (Geraniaceae). Journal of Ethnopharmacology 119, 3: 420-433
- Chen W., Viljoen A. M. 2010. Geraniol - A review of a commercially important fragrance material. South African Journal of Botany, 76, 4: 643-651
- Ćavar S., Maksimović M. 2012. Antioxidant activity of essential oil and aqueous extract of *Pelargonium graveolens* L'Her. Food Control, 23, 1: 263-267
- Geraniol. Wikipedia
<https://en.wikipedia.org/wiki/Geraniol> (1. 7. 2019)
- Ghannadi A., Bagherinejad M., Abedi D., Jalali M., Absalan B., Sadeghi N. 2012. Antibacterial activity and composition of essential oils from *Pelargonium graveolens* L'Her and *Vitex agnus-castus* L. Iranian Journal of Microbiology, 4, 4: 171-176
- Heitz H. 2007. Balkonske rastline in posodovke. Ptuj, In obs medicus: 236 str.
- Hofman C. 1992. Schöne Pelargonien (Geranien). Stuttgart, Ulmer: 186 str.
- Kolodziej H. 2007. Fascinating metabolic pools of *Pelargonium sidoides* and *Pelargonium reniforme*, traditional and phytomedicinal sources of the herbal medicine Umckaloabo® Phytomedicine, 14, 1: 9-17

- Kovačič K. 2010. Optimizacija razmnoževanja različnih sort pelargonij s potaknjenci. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 36 str.
- Kumar V., Moyo M., Gruz J., Šubrtova M., Van Staden J. 2015. Phenolic acid profiles and antioxidant potential of *Pelargonium sidoides* callus cultures. *Industrial Crops and Products*, 77: 402-408
- Latté P. K., Kolodziej H. 2004. Antioxidant Properties of Phenolic Compounds from *Pelargonium reniforme*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 4899-4902
- Moyo M., Aremu O. A., Gruz J., Šubrtova M., Szüčova L., Doležal K., Van Staden Johannes. 2013. Conservation strategy for *Pelargonium sidoides* DC: Phenolic profile and pharmacological activity of acclimatized plants derived from tissue culture. *Journal of Ethnopharmacology*, 149: 557-561
- Pepeljnjak S., Kalodžera Z., Zovko M. 2005. Antimicrobial activity of flavonoids from *Pelargonium radula* (Cav.) L'Hérit. *Acta Pharmaceutica*, 55: 431-435
- Podgornik Reš R. 1998. Okenske in balkonske rastline. Bled, Humko: 204 str.
- Rodriguez H., Landete J. M., de las Rivas B., Munoz R. 2008. Metabolism of food phenolic acids by *Lactobactillus plantarum* CECT 748T. *Food Chemistry*, 107: 1393-1398
- Saraswathi J., Venkatesh K., Baburao N., Hilal M. H., Roja Rani A. 2011. Phytopharmacological importance of *Pelargonium* species. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5, 13: 2587-2598
- Si W., Gong J., Tsao R., Zhou T., Yu H., Poppe C., Johnson R., Du Z. 2006. Antimicrobial activity of essential oils and structurally related synthetic food additives towards selected pathogenic and beneficial gut bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 100, 2: 296-305
- Šegula S., Udovč A. 2010. Model za analizo dohodkovnega položaja slovenskih vrtnarij z okrasnimi rastlinami. V: Sodobni izzivi menedžmenta v agroživilstvu. 5. konferenca DAES, Pivola 18. in 19. marec 2010. Rozman Č., Kavčič S. (ur.). Ljubljana, Društvo agrarnih ekonomistov Slovenije – DAES: 187-196
- Taiz L., Zeiger E. 2002. *Plant Physiology*. 3rd edition. Sunderland, Sinauer Associates: 690 str.
- Veberič R. 2010. Bioactive compounds in fruit plants. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 65 str.

Williams C. A., Newman M., Gibby M. 1999. The application of leaf phenolic evidence for systematic studies within the genus *Pelargonium* (Geraniaceae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 28, 2: 119-132

ZAHVALA

Rada bi se zahvalila mentorici doc. dr. Jerneji JAKOPIČ za strokovno vodenje, za vse dane nasvete, kritični pregled in vso potrpežljivost ter čas, ki ga je namenila mojemu diplomskemu delu.

Velika zahvala gre mojim staršem in bratu, ki so mi med študijem stali ob strani, moralno in tudi finančno.

Hvala tudi vsem mojim prijateljem in sošolcem, ki so mi s svojimi nasveti in besedami olajšali celoten študij in me na poti do mojega naziva spodbujali na vsakem koraku.