

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Griša PLANINC

**OPTIČNE LASTNOSTI
PODPORNIH LISTOV PRI TEVJU**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Griša PLANINC

OPTIČNE LASTNOSTI PODPORNIH LISTOV PRI TEVJU

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij


OPTICAL PROPERTIES OF *HACQUETIA EPIPACTIS* BRACTS

GRADUATION THESIS

University Studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo na Katedri za ekologijo na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je za mentorico diplomskega dela imenovala prof. dr. Alenko GABERŠČIK  za recenzentko prof. dr. Matejo GERM.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Katarina VOGEL MIKUŠ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: prof. dr. Alenka GABERŠČIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: prof. dr. Mateja GERM
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Datum zagovora: 19. september 2016

Podpisani izjavljam, da je naloga rezultat lastnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Griša PLANINC

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn
DK UDK
KG tevje/*Hacquetia epipactis*/optične lastnosti/podporni listi
AV PLANINC, Griša
SA GABERŠČIK, Alenka (mentor)
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI 2016
IN OPTIČNE LASTNOSTI PODPORNH LISTOV PRI TEVJU
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP XI, 69 str., 10 pregl., 28 sl., 95 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Proučevali smo optične lastnosti podpornih listov tevja (*Hacquetia epipactis*) v povezavi z morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi v različnem obdobju razvoja kobula (mladi, cvetoči in plodeči). Te lastnosti smo primerjali z različno razvitimi pritličnimi listi (nerazviti, razviti). Opazovali smo tudi vpliv nadmorske višine. Oblike odbojnih in presevnih spektrov so bile podobne pri vseh tipih listov. Razlike v posameznih delih spektrov so posledica biokemijskih in morfoloških lastnosti listov. S pomočjo RDA analize smo ugotovili, da vsebnost UV absorbirajočih snovi, karotenoidov in klorofila *a* razloži 37 % variabilnosti odbojnih spektrov, medtem ko vsebnost UV absorbirajočih snovi, antocianov, klorofila *a*, klorofila *b* in specifična listna površina 42 % variabilnosti presevnih spektrov. Ugotovili smo, da med posameznimi tipi podpornih listov obstajajo razlike v biokemijskih lastnostih, ki so izražene le na nižjih nadmorskih višinah, medtem ko so razlike v odbojnosti in presevnosti prisotne ne glede na nadmorsko višino. Vsebnost UV absorbirajočih snovi in antocianov je tekom razvoja kobula v podpornih listih naraščala, a le na nižji nadmorski višini. Nerazviti in razviti pritlični listi so se razlikovali v optičnih lastnostih, ne pa v biokemijskih. Med različni tipi podpornih in pritličnih listov so razlike v biokemijskih lastnostih izražene predvsem na nižji nadmorski višini, medtem ko je razlika v optičnih lastnostih prisotna ne glede na nadmorsko višino. Pri primerjavi istih tipov listov na različnih nadmorskih višinah je bilo malo razlik.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn

DC UDC

CX *Hacquetia epipactis*/optical properties/bracts

AU PLANINC, Griša

AA GABERŠČIK, Alenka (supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology

PY 2016

TI OPTICAL PROPERTIES OF HACQUETIA EPIPACTIS BRACTS

DT Graduation Thesis (University Studies)

NO Xi, 69 p., 10 tab., 28 fig., 95 ref.

LA sl

AL sl/en

AB We studied the optical properties of *Hacquetia epipactis* bracts with regard to morphological and biochemical properties of bracts during different developmental stages of the umbel (before blooming, at blooming, after blooming). We compared these properties with young and developed rosette leaves. We also studied the impact of altitude. The reflectance and transmittance spectra had a similar form in bracts and rosette leaves. However, there were differences in parts of spectra due to biochemical and morphological traits of leaves and bracts. Using RDA analysis, we explained 37% of the variability in reflectance by UV absorbing compounds, carotenoids and chlorophyll *a* and 42% of the variability in transmittance spectra by UV absorbing compounds, anthocyanins, chlorophyll *a* and *b* and specific leaf surface. Results of the research show that there are differences in biochemical characteristics between bracts, but only on lower altitudes. The content of the UV absorbing compounds and anthocyanins increased during the development of the umbel. Optical properties in bracts deferred regardless of altitude. Differences in optical properties were present in rosette leaves, but there were no differences in biochemical or morphological characteristics. Differences between bracts and rosette leaves were in optical properties regardless of altitude. However, differences in biochemical properties were present in lower altitudes only. When comparing the same type of bract or rosette leaf at different altitudes we found only minor differences.

KAZALO VSEBINE

| | |
|--|------------|
| KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA..... | III |
| KEY WORDS DOCUMENTATION | IV |
| KAZALO VSEBINE..... | V |
| KAZALO PREGLEDNIC..... | VII |
| KAZALO SLIK..... | VIII |
| KAZALO PRILOG | X |
| OKRAJŠAVE IN SIMBOLI | XI |
| 1 UVOD | 1 |
| 1.1 HIPOTEZE..... | 2 |
| 2 PREGLED OBJAV | 3 |
| 2.1 RASTLINE V PODRASTI GOZDOV ZMERNEGA PASU..... | 3 |
| 2.1.1 Svetlobne razmere v podrasti gozdov zmernega pasu | 3 |
| 2.1.2 Prilagoditve rastlin na življenje v podrasti | 4 |
| 2.2 OPTIČNE LASTNOSTI LISTOV IN DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NANJE..... | 6 |
| 2.2.1 Optične lastnosti listov | 6 |
| 2.2.1.1 Odbojnost | 6 |
| 2.2.1.2 Presevnost..... | 7 |
| 2.2.2 Rastlinski barvila..... | 7 |
| 2.2.2.1 Antociani | 7 |
| 2.2.2.2 Klorofili in karotenoidi..... | 8 |
| 2.2.2.3 UV - absorbirajoče snovi..... | 8 |
| 2.3 OPTIČNE LASTNOSTI CVETOV | 9 |
| 3 MATERIAL IN METODE | 10 |
| 3.1 PREDMET RAZISKAV | 10 |
| 3.2. METODE DELA..... | 12 |
| 3.2.1 Nabiranje rastlin..... | 12 |
| 3.2.1.1 Opis rastišč in čas nabiranja rastlin | 15 |
| 3.2.2 Specifična listna površina | 211 |
| 3.2.3 Biokemijske analize | 21 |
| 3.2.3.1 Klorofili in karotenoidi..... | 22 |
| 3.2.3.2 Antociani | 23 |
| 3.2.3.3 UV absorbirajoče snovi | 23 |

| | |
|---|-----|
| 3.2.4 Merjenje spektrov | 244 |
| 3.2.4.1 Merjenje odbojnih spektrov | 24 |
| 3.2.4.2 Merjenje prepustnih spektrov | 24 |
| 3.2.5 Statistična obdelava podatkov | 25 |
| 4 REZULTATI | 27 |
| 4.1 MORFOLOŠKE ANALIZE..... | 27 |
| 4.1.1 Specifična listna površina | 27 |
| 4.2 BIOKEMIJSKE ANALIZE..... | 28 |
| 4.2.1 Antociani | 28 |
| 4.2.2 Klorofili | 29 |
| 4.2.2 Karotenoidi | 30 |
| 4.2.3 UV absorbirajoče snovi | 31 |
| 4.3. ODBOJNOST IN PRESEVNOST LISTA | 34 |
| 4.3.1 Odbojnost lista | 34 |
| 4.3.2 Presevnost lista | 37 |
| 4.4 VPLIV MORFOLOŠKIH IN BIOKEMIJSKIH PARAMETROV NA ODBOJNOST IN PRESEVNOST LISTOV | 40 |
| 4.4.1 Korelacije med biokemijskimi ter morfološkimi parametri in odbojnimi ter presevnimi spektri listov | 40 |
| 4.4.2 Klusterska analiza | 48 |
| 4.4.3 Multivariatna RDA analiza | 53 |
| 5 RAZPRAVA IN SKLEPI | 54 |
| 5.1 RAZPRAVA..... | 54 |
| 5.1.1 Optične in biokemijske lastnosti podpornih listov v različnem obdobju razvoja kobula | 54 |
| 5.1.2 Optične in biokemijske lastnosti različno razvitih pritličnih listov | 56 |
| 5.1.3 Primerjava optičnih in biokemijskih lastnosti med podpornimi in pritličnimi listi . | 57 |
| 5.1.4 Vpliv nadmorske višine na optične in biokemijske lastnosti listov pri tevju | 58 |
| 5.2. SKLEPI..... | 61 |
| 6 POVZETEK | 62 |
| 7 VIRI | 64 |
| | |
| PRILOGE | |
| ZAHVALA | |

KAZALO PREGLEDNIC

| | | |
|-----------------|---|----|
| Preglednica 1: | Preglednica s kraji in datumi nabiranja rastlin (razvrščeno od najzgodnejšega do najpoznejšega datuma). | 20 |
| Preglednica 2: | Število odvzetih vzorcev za merjenje specifične listne površine..... | 21 |
| Preglednica 3: | Vrednosti Spearmanovega korelacijskega koeficienta, ki prikazujejo stopnjo korelacije med odbojnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkimi lastnostmi pri pritličnih in podpornih listih tevja..... | 41 |
| Preglednica 4: | Vrednosti Spearmanovega korelacijskega koeficienta, ki prikazujejo stopnjo korelacije med presevnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkimi lastnostmi pri pritličnih in podpornih listih tevja..... | 42 |
| Preglednica 5: | Vrednosti Spearmanovega korelacijskega koeficienta, ki prikazujejo stopnjo korelacije med odbojnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkimi lastnostmi pri podpornih listih tevja..... | 44 |
| Preglednica 6: | Vrednosti Spearmanovega korelacijskega koeficienta, ki prikazujejo stopnjo korelacije med presevnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkimi lastnostmi pri podpornih listih tevja..... | 45 |
| Preglednica 7: | Vrednosti Spearmanovega korelacijskega koeficienta, ki prikazujejo stopnjo korelacije med odbojnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkimi lastnostmi pri pritličnih listih tevja. | 47 |
| Preglednica 8: | Vrednosti Spearmanovega korelacijskega koeficienta, ki prikazujejo stopnjo korelacije med presevnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkimi lastnostmi pri pritličnih listih tevja. | 47 |
| Preglednica 9: | Parametri, ki razložijo variabilnost odbojnih spektrov in delež razložene variance. | 53 |
| Preglednica 10: | Parametri, ki razložijo variabilnost presevnih spektrov in delež razložene variance. | 53 |

KAZALO SLIK

| | |
|---|----|
| Slika 1: Tevje (<i>Hacquetia epipactis</i> (Scop.) DC.)..... | 11 |
| Slika 2: Mladi kobul..... | 12 |
| Slika 3: Cvetoči kobul..... | 13 |
| Slika 4: Plodeči kobul..... | 13 |
| Slika 5: Nerazvit pritlični pecljati list..... | 14 |
| Slika 6: Razvit pritlični pecljati list..... | 14 |
| Slika 7: Digitalni ortofoto posnetek lokacije v Preski pri Medvodah..... | 15 |
| Slika 8: Rastišče tevja v Preski pri Medvodah..... | 16 |
| Slika 9: Digitalni ortofoto posnetek lokacije v Zavrhu pod Šmarno goro..... | 17 |
| Slika 10: Rastišče tevja v Zavrhu pod Šmarno goro..... | 18 |
| Slika 11: Digitalni ortofoto posnetek lokacije na južnem pobočju Begunjščice..... | 19 |
| Slika 12: Rastišče tevja na južnem pobočju Begunjščice..... | 20 |
| Slika 13: Specifična listna površina pri različnih tipih listov pri tevju..... | 27 |
| Slika 14: Vsebnost antocianov (merjeno pri 530 nm) na površino pri različnih tipih listov pri tevju..... | 28 |
| Slika 15: Vsebnost klorofila a na površino pri različnih tipih listov pri tevju..... | 29 |
| Slika 16: Vsebnost klorofila b na površino pri različnih tipih listov pri tevju..... | 30 |
| Slika 17: Vsebnost karotenoidov na površino pri različnih tipih listov pri tevju..... | 31 |
| Slika 18: Vsebnost UV-A absorbirajočih snovi na površino pri različnih tipih listov pri tevju..... | 32 |
| Slika 19: Vsebnost UV-B absorbirajočih snovi na površino pri različnih tipih listov pri tevju..... | 33 |
| Slika 20: Spektri odbojnosti različnih tipov listov pri tevju..... | 34 |
| Slika 21: Spektri presevnosti različnih tipov listov pri tevju..... | 37 |
| Slika 22: Grafični prikaz korelacije izražene s Spearmanovim korelacijskim koeficientom med odbojnostjo/presevnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkimi lastnostmi pri pritličnih in podpornih listih tevja..... | 40 |
| Slika 23: Grafični prikaz korelacije izražene s Spearmanovim korelacijskim koeficientom med odbojnostjo/prepustnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkimi lastnostmi izključno pri podpornih listih tevja..... | 43 |
| Slika 24: Grafični prikaz korelacije izražene s Spearmanovim korelacijskim koeficientom med odbojnostjo/prepustnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkimi lastnostmi izključno pri pritličnih listih tevja..... | 46 |

| | |
|---|----|
| Slika 25: Dendrogram podobnosti odbojnih in presevnih spektrov ter morfoloških in biokemijskih parametrov pri vseh tipih listov pri tevju na različnih nadmorskih višinah; podan s pomočjo klastrske analize z Bray-Curtisovim indeksom podobnosti..... | 49 |
| Slika 26: Dendrogram podobnosti odbojnih spektrov pri podpornih in pritličnih listih tevja; podan s pomočjo klastrske analize z Bray-Curtisovim indeksom podobnosti..... | 50 |
| Slika 27: Dendrogram podobnosti presevnih spektrov pri podpornih in pritličnih listih tevja; podan s pomočjo klastrske analize z Bray-Curtisovim indeksom podobnosti..... | 51 |
| Slika 28: Dendrogram podobnosti v vrednosti UV- absorbirajočih snoveh pri podpornih in pritličnih listih tevja; podan s pomočjo klastrske analize z Bray-Curtisovim indeksom podobnosti. | 52 |

KAZALO PRILOG

Pril. A: Vsebnosti antocianov pri različnih tipih listja pri tevju

Pril. B: Vsebnosti klorofila *a* in *b* pri različnih tipih listja pri tevju

Pril. C: Vsebnosti karotenoidov pri različnih tipih listja pri tevju

Pril. D: Vsebnosti UV absorbirajočih snovi na suho maso pri različnih tipih listja pri tevju

Pril. E: Rezultati Kruskal – Wallis testa in ANOVA testa za morfološke in biokemijske analize

Pril. F: Rezultati Kruskal – Wallis testa in ANOVA testa za odbojnost in presevnost listov

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

| | |
|-----------------------|--|
| ANOVA | analiza variance |
| Ant ₅₁₀ P | vsebnost antocianov, merjenih pri 510 nm, na površino |
| Ant ₅₁₀ SS | vsebnost antocianov, merjenih pri 510 nm, na suho maso vzorca |
| Ant ₅₃₀ P | vsebnost antocianov, merjenih pri 530 nm, na površino |
| Ant ₅₃₀ SS | vsebnost antocianov, merjenih pri 530 nm, na suho maso vzorca |
| KarP | vsebnost karotenoidov na površino |
| Karss | vsebnost karotenoidov na suho maso vzorca |
| KlaP | vsebnost klorofila <i>a</i> na površino |
| Klass | vsebnost klorofila <i>a</i> na suho maso vzorca |
| KlbP | vsebnost klorofila <i>b</i> na površino |
| Klbss | vsebnost klorofila <i>b</i> na suho maso vzorca |
| n.v. | nadmorska višina |
| niž. | nižinski: mesto nabiranja je Preska pri Medvodah ali Zavrh pod Šmarno goro |
| NPLC / nPLC | podporni listi pri cvetočih kobulih z nižje nadmorske višine |
| NPLM / nPLM | podporni listi pri mladih kobulih z nižje nadmorske višine |
| NPLP / nPLP | podporni listi pri plodečih kobulih z nižje nadmorske višine |
| NSLN / nSLN | nerazviti pritlični pecljati listi z nižje nadmorske višine |
| NSLR / nSLR | razviti pritlični pecljati listi z nižje nadmorske višine |
| PLC | podporni listi pri cvetočih kobulih |
| PLM | podporni listi pri mladih kobulih |
| PLP | podporni listi pri plodečih kobulih |
| SLA | specifična listna površina |
| SLN | nerazviti pritlični pecljati listi |
| SLR | razviti pritlični pecljati listi |
| UV-A | ultravijolično sevanje A z valovno dolžino 320 - 400 nm |
| UVAP | vsebnost UV-A absorbirajočih snovi na površino |
| UVAss | vsebnost UV-A absorbirajočih snovi na suho maso vzorca |
| UV-B | ultravijolično sevanje B z valovno dolžino 280 - 319 nm |
| UVBP | vsebnost UV-B absorbirajočih snovi na površino |
| UVBss | vsebnost UV-B absorbirajočih snovi na suho maso vzorca |
| viš. | višinski: mesto nabiranja je južno pobočje Begunjščice |
| VPLC / vPLC | podporni listi pri cvetočih kobulih z višje nadmorske višine |
| VPLM / vPLM | podporni listi pri mladih kobulih z višje nadmorske višine |
| VPLP / vPLP | podporni listi pri plodečih kobulih z višje nadmorske višine |
| VSLN / vSLN | nerazviti pritlični pecljati listi z višje nadmorske višine |
| VSLR / vSLR | razviti pritlični pecljati listi z višje nadmorske višine |

1 UVOD

TeVje (*Hacquetia epipactis* (Scop.) DC., Apiaceae) je nizkorašla trajnica, ki raste v gozdni podrasti. Na tem delu so svetlobne razmere lahko izredno dinamične; od krajših obdobj neposredne osončenosti, do s svetlobo izredno skopih obdobj, kar pri rastlinah terja različne morfološke in fiziološke prilagoditve.

Spektralne značilnosti odbite, presevne in absorbirane svetlobe pri listih odražajo njihove funkcionalne in strukturne lastnosti, ki so posledica okoljskih razmer, v katerih rastlina raste. Pri tevju podporni listi obkrožajo rumen kobul in imajo vlogo cvetnega odevala. Optične in biokemijske lastnosti podpornih listov se v času razvoja kobula domnevno spreminjajo in pričakovati bi bilo, da so drugačne v primerjavi s pritličnimi dlanasto deljenimi listi.

Namen diplomske naloge je bil ugotoviti, kakšne so optične in biokemijske lastnosti podpornih listov v različnem obdobju razvoja kobula (mladi, cvetoči in plodeči) ter kako se te lastnosti razlikujejo od lastnosti različno razvitih pritličnih dlanasto deljenih listov. Zanimalo nas je tudi, katere biokemijske lastnosti listov razložijo največ variabilnosti odbojnih in presevnih spektrov. Dodatno smo želeli izvedeti, kakšen je vpliv nadmorske višine na optične in biokemijske lastnosti listov pri tevju.

1.1 HIPOTEZE

- Predvidevamo, da se bodo optične lastnosti podpornih listov v času razvoja kobula spreminjale, ter da bomo del spremembe optičnih lastnosti lahko razložili z vsebnostjo UV absorbirajočih snovi.
- Predvidevamo, da se bodo optične lastnosti podpornih listov vsaj v določeni fazi razvoja razlikovale od optičnih lastnosti pritličnih dlanasto deljenih listov.
- Predvidevamo, da bodo razlike v odbojnih spektrih listov večje kot razlike v presevnih spektrih.
- Predvidevamo, da se bodo optične in biokemijske lastnosti podpornih in pritličnih listov na različnih nadmorskih višinah razlikovale.

2 PREGLED OBJAV

2.1 RASTLINE V PODRASTI GOZDOV ZMERNEGA PASU

2.1.1 Svetlobne razmere v podrasti gozdov zmernega pasu

Za gozdove zmernega pasu je značilna navpična slojevitost. Ločimo sloj krošenj, sloj debel, sloj grmovne podrasti, sloj praproti, zelišč in mahov ter talni sloj z opadom (Tome, 2009).

Svetloba je najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na rast in razvoj rastlin gozdne podrasti (Chazdon in Pearcy, 1991). Dinamične spremembe v sloju drevesnih krošenj v času rastne sezone vplivajo na količino sončnega sevanja, ki prodre do podrasti (Larcher, 2003). Zgodaj spomladi je podrast listopadnih gozdov izpostavljena neposredni sončni svetlobi, kasneje v sezoni pa zaradi razvoja listov v drevesnih krošnjah količina sončnega sevanja drastično upade. Do podrasti takrat prodre le od 0,5-5 % sončne svetlobe (Rothstein in Zak, 2001). Rastline so zato večji del rastne sezone v senčnem okolju. Jeseni se dostop svetlobe postopoma poveča zaradi staranja in odpadanja listov z drevesnih krošenj (Rothstein in Zak, 2001).

Sončna svetloba, ki pada na krošnje dreves, je sestavljena iz ultravijolične (UV) svetlobe (UV-B: 280-319 nm; UV-A: 320-400 nm), vidne svetlobe (400 do 700 nm; ta je sestavljena iz vijolične (380-450 nm), modre (450-500 nm), zelene (500-570), rumene (570-590), oranžne (590-620) in rdeče svetlobe (620-750 nm)) in infrardeče svetlobe (nad 750 nm; bližnja infrardeča svetloba (NIR): 700-1000 nm). Za fotosintezo je pomemben predvsem fotosintezno aktivni spekter sevanja (PAR spekter), ki se, tako kot vidna svetloba, nahaja med 400-700 nm (Taiz in Zeiger, 2010). Svetloba, ki prehaja skozi krošnje do podrasti, je sestavljena iz večjega deleža svetlobe valovnih dolžin pod 500 nm in nad 800 nm (Larcher, 2003), pri čemer je delež UV svetlobe zelo majhen (Brown in sod., 1994). PAR sevanje je nizko, na voljo je predvsem rdeča oziroma NIR svetloba (Federer in Tanner, 1966).

Tudi ko so listi v krošnjah že razviti, so rastline podrasti izpostavljene zelo dinamičnim svetlobnim razmeram. Sončno sevanje vstopa v gozdni sestoj na gozdnih robovih in skozi sloj krošenj. Na gozdnih tleh se ustvarjajo sončne lise, ki se razlikujejo v kakovosti, intenziteti in trajanju (Chazdon in Pearcy, 1991; Leakey in sod., 2005). Sončne lise so odvisne od razporeditve krošenj, položaja Sonca in klime (Vogel, 2012). Rastline podrasti so dobro prilagojene na tovrstne spremenljive svetlobne razmere. Učinkovito uravnavajo zajem svetlobe in s tem zagotovijo nemoteno izvajanje fotosinteze tako pri nizki kot visoki intenzivnosti sevanja (Esteban in sod., 2008). Zaradi zmožnosti vzdrževanja indukcije bolje izkoristijo sončne lise. Na ta način so sposobne povečati vezavo ogljika za 9-46 % (Lambers in sod., 1998). Kljub dobrim prilagoditvam pa se lahko v primeru predolgo trajajoče sončne lise v rastlini sproži proces fotoinhibicije (Le Gouallec in sod., 1990, cit. po Chazdon in Pearcy, 1991), ali pride do spremembe lege listne površine (Powles in Bjorkman 1981, cit. po Chazdon in Pearcy, 1991).

2.1.2 Prilagoditve rastlin na življenje v podrasti

Morfološke prilagoditve rastlin, rastočih v podrasti, se kažejo v povečanju specifične listne površine (večja površina lista na maso lista), večjih epidermalnih celicah, tanjši kutikuli in tanjšem listu, kar omogoča lažji dostop svetlobe do mezofila. Gobastega tkiva je več kot stebričastega. Slednje je lahko celo odsotno (Trošt Sedej, 2005). Pri pretežno senčnih rastlinah je manj trihomov, ki bi ščitili pred sevanjem (Levizou in sod., 2005). Epidermalne celice so pri senčnih rastlinah lečaste oblike, kar omogoča učinkovitejšo izrabo razpršene svetlobe (Vogelmann in sod., 1996). Na ravni rastline se prilagoditve na izkoriščanje sončnih lis kažejo kot dodatni asimilacijski organi, na celični ravni pa kot gibanje kloroplastov (Baltzer in Thomas, 2005).

Na listni površini rastlin, ki rastejo v podrasti gozdov zmerne pasu, še posebej pa v podrasti tropskih gozdov, lahko pogosto zasledimo prisotnost lis (Tsukaya in sod., 2004; Konoplyova in sod., 2008; La Roca in sod., 2014; Esteban in sod., 2007). Pri dveh vrstah ciklam (*Cyclamen persicum* in *Cyclamen hederifolium*), navadnem pljučniku (*Pulmonaria officinalis*) in pri begoniji (*Begonia rex*) so ugotovili, da svetlozeleni deli listov odbijajo več sončnega sevanja kot zeleni deli listov (Konoplyova in sod., 2008, Esteban in sod., 2008; Zhang in sod., 2009). To bi lahko predstavljalo zaščito pred prevelikim sončnim sevanjem (Holmes in Keiller, 2002), saj svetlozeleni deli listov vsebujejo manj fotosinteznih barvil (Gaberščik in sod., 2001; La Rocca in sod., 2011).

Biokemijske prilagoditve senčnih listov se odražajo v manjši količini antocianov, karotenoidov in UV-absorbirajočih snoveh, manjšem razmerju med klorofiloma *a* in *b* (pri sončnih je razmerje 3:1 (Yoshimura in sod., 2010), pri navadni ciklami 2:1 (Liew in sod., 2008), ter manjšem številu listnih rež (Trošt Sedej, 2005; Anderson, 1986). Senčne rastline vsebujejo več klorofila *b* (Trošt Sedej, 2005). Senčni listi imajo v primerjavi s sončnimi listi večje koncentracije klorofila na maso, a zaradi tanjših in lažjih listov manjše koncentracije klorofila na enoto površine (Lambers, 1998). Zaradi manjše vsebnosti UV-B absorbirajočih snovi so bolj občutljivi na UV-B sevanje (Filella in Peñuelas, 1999). Pri rastlinah podrasti so lahko v spodnji povrhnjici antociani, ki lahko povečajo fotosintezno učinkovitost, saj se svetloba odbije od spodnje povrhnjice do klorofilov (Lee in sod., 1979). Odbojnost senčnih listov je v večini delov spektra manjša (Filella in Peñuelas, 1999).

Slabše svetlobne razmere v podrasti zavirajo cvetenje in plodenje ter spodbujajo vegetativno razmnoževanje (Daubenmire, 1974). Cvetovi in plodovi so namreč za rastlino, ki živi v podrasti, energetsko zelo potratni, in zato so pogosto manj opaznih barv in velikosti. Lesne rastline podrasti imajo neredko cvetove belih, krem ali zelenkastih barv. Zelnate rastline podrasti pa imajo, po drugi strani, pogostejše cvetove roza, vijoličnih ali škrlatnih barv. Te barve so posledica prisotnosti antocianov, ki so izpostavljeni kislemu pH. Zanimivo je, da barva tovrstnih cvetov sovpada s prisotnostjo antocianov v spodnji povrhnjici listov v isti rastlini (Middleton, 2001). Najnovejše raziskave kažejo, da se barve cvetov rastlin, ki rastejo v gozdni podrasti in na travniških habitatih, tako s čebelje kot človeške perspektive ne razlikujejo. Svetloba v gozdu in na travniku je drugačna, prav tako tudi podlaga, na kateri rastejo rastline. Kljub temu niso odkrili nobenih prilagoditev barv cvetov na zaznavni sistem barv pri čebelah (Binkenstein in Shaefer, 2015).

Kudo in sodelavci (2008, cit. po Gilliam, 2014) predstavnik zeliščne podrasti uvrščajo v tri skupine glede na čas razvoja in razmnoževanja rastline. V prvo skupino prištevajo rastline, ki poženejo liste, cvetijo in plodijo zgodaj v sezoni, pred zaprtjem sloja krošenj, v drugo skupino tiste, ki poženejo liste pred, cvetijo med, plodijo pa po zaprtju sloja krošenj, ter v tretjo skupino pozno poletne vrste, ki cvetijo in plodijo po zaprtju krošenj (Gilliam, 2014). Večina rastlin v podrasti listopadnih gozdov se razvija in cveti zgodaj spomladi, pred olistanjem krošenj, ko je razpoložljivost svetlobe še dovoljšnja (Schemske in sod., 1978).

2.2 OPTIČNE LASTNOSTI LISTOV IN DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NANJE

Rastlinski listi so izpostavljeni sončnemu sevanju. Sevanje se lahko odbije od listne površine, se absorbira v listu ali prehaja skozi list (Jacquemoud in sod., 1989). Odbojnost, absorbanca in presevnost so optične lastnosti listov, ki so v veliki meri odvisne od kemijskih in fizikalnih lastnosti listov (Jacquemoud in Baret, 1990).

2.2.1 Optične lastnosti listov

2.2.1.1 Odbojnost

Odbojnost ali reflektanca listov pomeni, da se svetloba, ki pod določenim vpadnim kotom pade na površino lista, od nje odbije in razprši. Nanjo vpliva lastnost površine, notranja zgradba lista in biokemijska sestava (Liew in sod., 2008).

Listi imajo v območju UV sevanja nizko odbojnost, presevnosti pa skorajda ni (Grant in sod., 2003). Odbijejo manj kot 10 % UV sevanja (Filella in Peñuelas, 1999; Qi in sod., 2003, Larcher, 2003), toda pri nekaterih rastlinskih vrstah lahko odboj znaša tudi do 70 % UV sevanja (Holmes in Keiler, 2002). Kutikula, zunanje plasti epidermisa in fenolne spojine citosola zgornjih celičnih plasti preprečujejo vdor UV sevanja v notranjost lista (Larcher, 2003). Prisotnost trihomov spremeni površino lista in bistveno vpliva na listno odbojnost (Klančnik in sod., 2012). Pri neodlakanih in manj odlakanih listih je odbojnost UV-B sevanja manj kot 5 %, bolj odlakane rastline z voski pa lahko odbijejo precej več UV-B sevanja (Holmes in Keiler, 2002). Razlog za to je lahko v prisotnosti UV-B absorbirajočih snovi v trihomih ali povečani zmožnosti sipanja svetlobe (Holmes in Keiler, 2002). UV-B sevanje povzroča povečanje gostote trihomov (Levizou in sod., 2005) in povečano tvorbo voskov (Holmes in Keiler, 2002). Listi odbijejo v vidnem delu spektra v povprečju 6-10 % sevanja, največ v zelenem delu spektra (10-20 % sevanja, vrh pri 550 nm), manj pa v oranžnem in rdečem delu spektra (3-10 %). Listna barvila, kot so flavonoidi, antociani, karotenoidi in klorofili, absorbirajo vidno svetlobo, zaradi česar je odbita svetloba v tem delu spektra nizka (Wooley, 1971; Qi in sod., 2003). Odbojnost je visoka v bližnjem IR območju (700-1400 nm). Količina odbite infrardeče svetlobe je lahko celo 70 % (Liew in sod., 2008; Yoshimura in sod., 2010; Larcher, 2003), na odboj pa vplivajo kutikula, listna povrhnjica, vsebnost vode in ostala listna tkiva (Baltzer in Thomas, 2005; Vogelmann, 1993).

Jakost odbojnosti nam lahko pomaga pri ocenjevanju stresa pri rastlinah in nam poda informacije o biokemijski zgradbi lista (Gitelson in sod., 2002). Živi in neživi dejavniki stresa namreč vplivajo na biokemijske in anatomske značilnosti ter posledično optične lastnosti listov (Liew in sod., 2008). Razliko v odbojnosti lahko zaznamo tudi pri svežem in suhem listu. Odbojnost suhih listov je pri vseh valovnih dolžinah višja od odbojnosti svežega lista, razlika pa je še posebej očitna v IR spektru. Pri suhih listih je odbojnost posledica odboja svetlobe od celuloze, pri svežih listih pa je odbojnost nižja zaradi kombiniranega učinka absorpcijske lastnosti vode in odbojnost celuloze (Wooley, 1971).

2.2.1.2 Presevnost

Kadar svetloba prodira skozi določeno snov, govorimo o presevnosti ali transmitenci. Na presevanje skozi list vpliva struktura in debelina gobastega in stebričastega tkiva, pa tudi medcelični zračni prostori in sipanje svetlobe (Liew in sod., 2008). Debeli in grobi listi prepuščajo manj kot 3 %, mehki in fleksibilni listi 10–20 %, zelo tanki listi pa več kot 40 % sončevega sevanja. Presevnost je tako kot odbojnost najvišja v zelenem in v bližnjem IR-delu spektra (Larcher, 2003). V vidnem delu spektra je odvisna predvsem od fotosinteznih barvil, v bližnjem IR pa od listne zgradbe (Slaton in sod., 2001). V UV območju je zanemarljiva (Qi in sod., 2003), nanjo pa vplivajo klorofili in UV absorbirajoče snovi (Slaton in sod., 2001).

2.2.1.3 Absorbanca

Ko snov svetlobe niti ne odbije, niti ne preseva, temveč jo absorbira, govorimo o absorpanci (Merzlyak in sod., 2008). Absorpanca je obratno sorazmerna z odbojnostjo in presevnostjo (Levizou in sod., 2005). Na absorpanco vpliva prisotnost različnih barvil v listih (Liew in sod., 2008). Ti svetlobo določene valovne dolžine absorbirajo, druge pa odbijajo (Levetin in McMahon, 2008). Visoka absorpcija UV-B sevanja (okoli 95 %) poteka v zgornji povrhnjici s pomočjo zaščitnih barvil (predvsem flavonoidi) in nudi rastlinam zaščito pred poškodbami zaradi UV-B sevanja (Holmes in Keiler, 2002; Filella in Peñuelas, 1999; Yoshimura in sod., 2010). V fotosinteznem aktivnem območju sevanja (PAR; 400-700 nm) rastlina absorbira kar 60-80 % tega sevanja (Larcher, 2003). Zmanjšana koncentracija klorofila v listu vpliva na povečano odbojnost v širšem delu vidnega spektra. Absorptivnost klorofila je pri valovnih dolžinah od 535-640 nm visoka, glavni absorpcijski pas klorofila pa je blizu 680 nm. Absorptivnost se približa ničli pri valovnih dolžinah okoli 700 nm (Carter in Knapp, 2000). Iz listov ekstrahirana barvila imajo majhno absorpcijo v IR delu spektra (Wooley, 1971; Qi in sod., 2003). Pri valovnih dolžinah nad 7000 nm se absorbira tudi do 97 % svetlobe (Larcher, 2003).

2.2.2 Rastlinska barvila

2.2.2.1 Antociani

Antociani, ki jih uvrščamo med flavonoide, poznamo kot barvila roza, vijolične, modre in rdeče barve (Taiz in Zeiger, 2010). Najmočneje absorbirajo UV-B sevanje in vidno svetlobo pri tistih valovnih dolžinah, kjer je absorpcija klorofilov in karotenoidov nižja, to je med 500-600 nm. Ob veliki koncentraciji antocianov je absorpcija velika tudi v območju od 600-650 nm (Merzlyak in sod., 2008). Lokacija antocianov v listih se med vrstami bistveno razlikuje. Nahajajo se v celičnih vakuolah v zgornji povrhnjici ali tik pod njo, ali pa se akumulirajo v celičnih vakuolah v spodnji povrhnjici, stebričastem in gobastem tkivu (Merzlyak in sod., 2008). Pri rastlinah senčnih območij se antociani nahajajo v nižje ležečih tkivih lista in odbijajo rdečo svetlobo nazaj do klorofilov. S tem je izkoristek razpoložljive svetlobe večji (Neill in Gould, 2000).

Vloga antocianov je zaščita fotosinteznega sistema pred premočno vidno svetlobo, UV sevanjem in prostimi radikali (Taiz in Zeiger, 2010). Največ antocianov je v mladih listih,

ki imajo nizko fotosintezno stopnjo (Gamon in Surfus, 1999) in v listih rastlin, kjer je bila rast omejena z nizko temperaturo ali drugimi stresnimi dejavniki (Chalker-Scott, 1999). Prisotnost antocianov namreč povečuje toleranco na stres (Gould, 2004). Stresni dejavniki so poleg nizke temperature in suše (Blackburn, 2006) še povečana prisotnost težkih kovin (Gould, 2004), povečano UV-sevanje, visoko PAR sevanje, ekstremne temperature in pomanjkanje hranil (Merzlyak in sod., 2008). Nudijo tudi zaščito pred herbivori in patogeni (Gould, 2004). V večjih količinah so v jesenskih listih (Merzlyak in sod., 2008).

2.2.2.2 Klorofili in karotenoidi

Klorofili (kemijsko tetrapiroli) absorbirajo svetlobno energijo in jo prenesejo v fotosintezni sistem. Klorofil *a* in klorofil *b* sta najpomembnejša predstavnika klorofilov. Tudi karotenoidi (kemijsko tetraterpeni), kot pomožna fotosintezna barvila, prispevajo energijo za fotosintezo, obenem pa imajo vlogo varovanja fotosinteznega aparata pred poškodbami ob preveliki količini svetlobne energije z odvajanjem in porabo odvečne energije (Demming-Adams in Adams, 1996). Klorofil najdemo v tilakoidnih membranah (Taiz in Zeiger, 2010). Koncentracija klorofila *a* na membranah je približno trikrat večja od koncentracije klorofila *b* (Yoshimura in sod., 2010). Koncentracije karotenoidov so takoj za klorofilnimi (Baltzer in Thomas, 2005).

Klorofili absorbirajo v modrem in rdečem delu spektra. Absorpcijski maksimum klorofila *a* (modrozeleno barvilo) je pri 432 in 669 nm, absorpcijski maksimum klorofila *b* (rumenzeleno barvilo) pa pri 455 in 644 nm. Absorpcijski minimum klorofila je okoli 550 nm (Liew in sod., 2008). Za klorofil je značilno naglo povečanje odbojnosti nad 680 nm valovne dolžine (Taiz in Zeiger, 2010). V infrardečem območju je lahko odbojnost klorofila večja od 50 % (Orych in sod., 2013). Prehod v odbojnosti med rdečim in infrardečim območjem imenujemo »rdeči rob« in je odvisen predvsem od klorofila (Taiz in Zeiger, 2010). Absorpcijski vrhovi karotenoidov so med 400 in 520 nm in imajo trojni vrh. Karotenoide delimo na karotene in ksantofile (Taiz in Zeiger, 2010).

2.2.2.3 UV - absorbirajoče snovi

Rastline se pred škodljivimi vplivi UV sevanja (280-400 nm) zaščitijo tako, da ga večinoma absorbirajo s pomočjo UV absorbirajočih snovi (Yoshimura in sod., 2010). Kemijsko jih uvrščamo med fenolne spojine, flavonoide in hidrosicimetne kisline, za katere je značilno, da imajo različne absorpcijske maksimume (eden ali dva vrhova) v UV območju. Nahajajo se v zgornji listni povrhnjici, v kutikuli in v vosku, ki prekriva kutikulo (Cerovic in sod., 2002) ali v trihomih (Karabourniotis, 1992). Na tvorbo UV absorbirajočih snovi vpliva prisotnost UV svetlobe (Taiz in Zeiger, 2010). Koncentracije UV-B absorbirajočih snovi so pri sončnih listih večje kot pri senčnih listih, ne glede na nadmorsko višino (Filella in Peñuelas, 1999). Del UV sevanja prehaja do kloroplastov, kjer ga absorbirajo klorofili (*a* in *b*), ter ga oddajo kot fluorescenco (Yoshimura in sod., 2010).

2.3 OPTIČNE LASTNOSTI CVETOV

Rastline opraševalce privabljajo z barvo in vzorci cvetov, z njihovo obliko in velikostjo, vonjem, sestavo in količino nektarja in cvetnim prahom (Fægri in van der Pijl, 1979). Med najpomembnejšimi dražljaji je barva cvetov. Obarvanost cvetov je posledica kombiniranega učinka absorpcijskega spektra barvil, sipanja svetlobe zaradi notranjih struktur venčnih listov in debeline cveta. Barvni odtenek in nasičenost barve cveta določa odbita svetloba pri valovnih dolžinah, pri katerih barvila ne absorbirajo svetlobe (van der Kooi in sod., 2016).

Spektri odbojnosti in presevnosti oziroma absorbance se razlikujejo glede na obarvanost cvetov. Pri vrsti *Hibiscus trionum*, ki ima bele venčne liste, sta odbojnost in presevnost največja pri valovnih dolžinah nad 450 nm, pri modrih venčnih listih vrste *Borago officinalis* med 400 in 500 nm ter nad 700 nm, pri rumenih venčnih listih vrste *Oenothera biennis* med 300-400 nm ter nad 550 nm, ter pri rdečih venčnih listih maka *Papaver rhoeas* nad 600 nm (van der Kooi in sod., 2016).

Vzorci na cvetnih listih povečajo opaznost cvetov za opraševalce in prispevajo k uspešnejši opraitvi cvetov. Ti vzorci so lahko vidni v ultravijoličnem ali vidnem delu spektra. Ultravijolične medene sledi so pogoste pri kritosemenkah in so posledica prisotnosti flavonoidov. Pri rumenocvetočih vrstah iz rodu *Potentilla* so našli prisotnost rumenih karotenoidov, ki odbijajo UV svetlobo, ter UV-absorbirajočih flavonoidov (Harborne in Nash, 1984).

Žuželke, ki imajo sposobnost vidnega zaznavanja tudi v UV delu spektra, lahko prepoznajo UV vzorce. Ti so navadno na izpostavljeni strani cveta, kjer opraševalec pristane. Pri radialnih cvetovih so UV absorbirajoča barvila, odgovorna za UV vzorec, pogosto skoncentrirana v osrednjem delu cveta. To prispeva k večji opaznosti cveta na daljavo in usmerjanju opraševalcev v središče cveta po pristanku. UV absorbirajoče snovi so prisotne tudi v reproduktivnih delih cvetov. V cvetu imajo lahko zaščitno vlogo pred herbivori (dokazano pri *Hypericum calycinum*) (Gronquist in sod., 2001).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 PREDMET RAZISKAV

Tevje (*Hacquetia epipactis* (Scop.) DC.) je 10-25 cm visoka zelnata trajnica (Slika 1). Je edini predstavnik rodu tevje (*Hacquetia*), ki ga uvrščamo v družino kobulnic (Apiaceae). Cvetovi so sedeči in združeni v enostavne kobule. Na obodu so moški, na sredini pa dvospolni cvetovi. Venčni listi so rumenozeleni. Ogrinjalce sestavlja pet do osem zvezdasto razporejenih po robu nazobčanih listov (podporni ali ogrinjalni listi), ki so mnogo večji kot kobul. Ti so sprva rumeni, kasneje zeleni. Tri- do pet- krpi pritlični listi so dolgopecljati, dlanasto deljeni in se razvijejo sočasno s cvetenjem ali tik po njem. Cveti od aprila do maja. Vrsto uvrščamo med hemikriptofite (Hemikryptophyta). Ob nastopu neugodnega obdobja nadzemni deli odmrejo, zato so popki na površini tal zaščiteni z odmrli deli in snegom (Martinčič in sod., 2007; Wraber, 1997).

Genetske raziskave kažejo na večjo sorodnost rodu *Hacquetia* z rodом *Sanicula* kot se je sprva domnevalo. Monotipski rod *Hacquetia* Neck. ex DC. je bil združen v rod *Sanicula* (Calviño in Downie, 2007). Tevje tako uvrščamo v rod *Sanicula*, vrsta pa je bila preimenovana v *Sanicula epipactis* (Scop.) E. H. L. Krause (Hassler, 2016). Zaradi tradicionalnega pojmovanja uporabljamo v diplomski nalogi ime rodu *Hacquetia*.

Razširjenost tevja je dvodelna (disjunktna). Del areala sega od severovzhodne Italije, Slovenije, južne Avstrije, Hrvaške do zahodne Bosne, drugi del pa od Moravske na Češkem, Slovaške do južne Poljske (Wraber, 1997; Nowak A in Nowak S, 2001). Vrsta je razširjena v večjem delu Slovenije. Najmanj podatkov o pojavljanju je s severovzhoda in severozahoda države, na obali pa vrsta še ni bila zabeležena (Jogan in sod., 2001). Poseljuje gozdove in grmovnata pobočja od nižine do montanskega pasu v vseh fitogeografskih območjih Slovenije. Je pretežno nižinska vrsta, zgornjo višinsko mejo pa dosega na Snežniški planoti (1200 m n. m.) (Martinčič in sod., 2007; Wraber, 1997).

V splošnem je tevje rastlina reda bukovih gozdov (Fagetalia sylvaticae), kamor prištevamo hrastovo-belogabrove (*Quercus-Carpinetum* s. lat.) kot tudi bukove gozdove (zveza Fagion s. lat.). Ena od njegovih značilnih združb je bukov gozd s tevjem (*Hacquetio-Fagetum*), s tevjem pa je označena tudi združba plemenitih listavcev *Hacquetio-Fraxinetum* in združba *Hacquetio-Piceetum* (Wraber, 1997). Vrsti ustrezajo humusna, glinena, sveža ali vlažna, rahlo kislo do rahlo bazična tla, na različnih kamninskih podlagah (Oberdorfer, 1994).



Slika 1: Tevje (*Hacquetia epipactis* (Scop.) DC.). Foto: Griša Planinc

3.2. METODE DELA

Rastline smo nabrali v naravnem okolju na dveh lokacijah na nižji nadmorski legi in na eni lokaciji na višji nadmorski legi ter jih prenesli v laboratorij. Še isti dan smo v laboratoriju izmerili odbojne in presevalne spektre podpornih listov pri različno razvitih kobulih (mladi, cvetoči in plodeči), ter pritličnih listov v dveh fazah razvoja (nerazviti, razviti). Na istih primerkih smo izvedli tudi analizo biokemijskih lastnosti (klorofil *a* in *b*, karotenoidi, antociani in UV absorbirajoče snovi) ter določili specifično listno površino. S pomočjo multivariatne analize smo določili parametre, ki značilno vplivajo na variabilnost spektrov različnih listov tevja.

3.2.1 Nabiranje rastlin

Na vsaki lokaciji smo nabrali do 20 rastlin. Pri izboru rastlin smo upoštevali, da smo zajeli dovolj velik vzorec različno razvitih stadijev kobulov (mladi, cvetoči in plodeči) in pritličnih listov (nerazviti, razviti). Rastline so bile izkopane s koreninskim sistemom in vtaknjene v plastične lončke z dobro namočeno prstjo z mesta nabiranja. Na ta način smo želeli zagotoviti čim boljše vitalnost rastlin. Da bi čim manj škodovali naravnim populacijam tevja, smo rastline nabirali na lokacijah, kjer je vrsta pogosta.

Kobule smo razdelili na tri različne razvojne stadije (na isti rastlini so bili neredko kobuli v različnih razvojnih stadijih):

a) Mladi kobul (Slika 2): venčni listi cvetov so uvihani, zelenkasti ali rumenkasti, cvetovi se še niso razprli. Iz cvetov gledajo kvečjemu pestiči. Za podporne liste pri mladem kobulu v nadaljevanju uporabljamo oznako PLM.



Slika 2: Mladi kobul. Foto: Griša Planinc

b) Cvetoči kobul (Slika 3): venčni listi cvetov so izvihani, rumeni, cvetovi so razprti. Iz cvetov gledajo prašniki. Za podporne liste pri cvetočem kobulu v nadaljevanju uporabljamo oznako PLC.



Slika 3: Cvetoči kobul. Foto: Griša Planinc

c) Plodeči kobul (Slika 4): venčni listi cvetov so posušeni, rjavkasti, odpadajoči ali so že odpadli. Cvetovi so oplojeni. Za podporne liste pri plodečem kobulu v nadaljevanju uporabljamo oznako PLP.



Slika 4: Plodeči kobul. Foto: Griša Planinc

Pritlične pecljate liste smo razdelili na dva razvojna stadija (pritlični pecljati listi iste rastline so bili neredko v različnih razvojnih stadijih):

a) Nerazviti pritlični pecljati listi (v nadaljevanju SLN) (Slika 5): mladi, manjši listi pri katerih listna ploskev še ni izravnana, listi imajo svetlejši lesk, na otip so nekoliko mehkejši.



Slika 5: Nerazvit pritlični pecljati list. Foto: Griša Planinc

b) Razviti pritlični pecljati listi (v nadaljevanju SLR)(Slika 6): starejši, večji listi z dobro razvito, izravnano listno ploskvijo, listi brez sijaja, na otip bolj čvrsti.



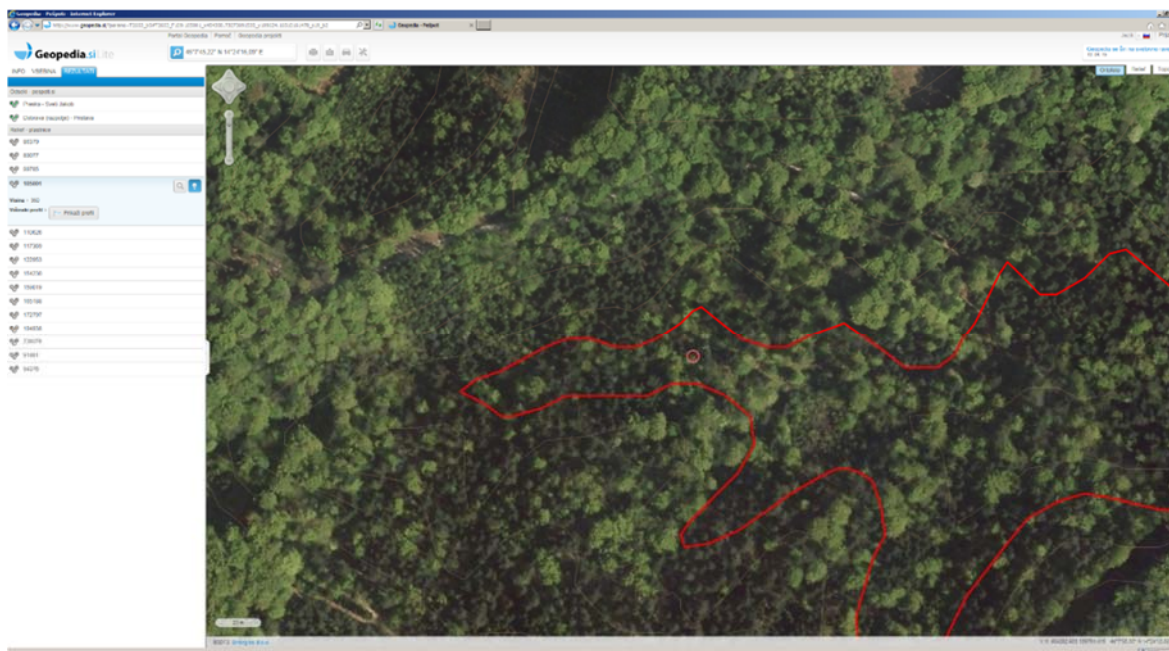
Slika 6: Razvit pritlični pecljati list. Foto: Griša Planinc

3.2.1.1 Opis rastišč in čas nabiranja rastlin

Rastline so bile nabrane na treh lokacijah.

Lokaciji z nižjo nadmorsko lego:

a) Preska pri Medvodah (Slika 7-8, Preglednica 1): WGS84 koordinate 46°7'45,22" N 14°24'16,09" E; nadmorska višina 350 m n. m. (odčitano na <http://www.geopedia.si>; DOF; plastnice). V mešanem gozdu v bližini potoka. Združba bukve in tevja (*Hacquetio epipactidis-Fagetum*) (odčitano na Geopedia, 2016; Karta gozdnih združb Slovenije, 2016).

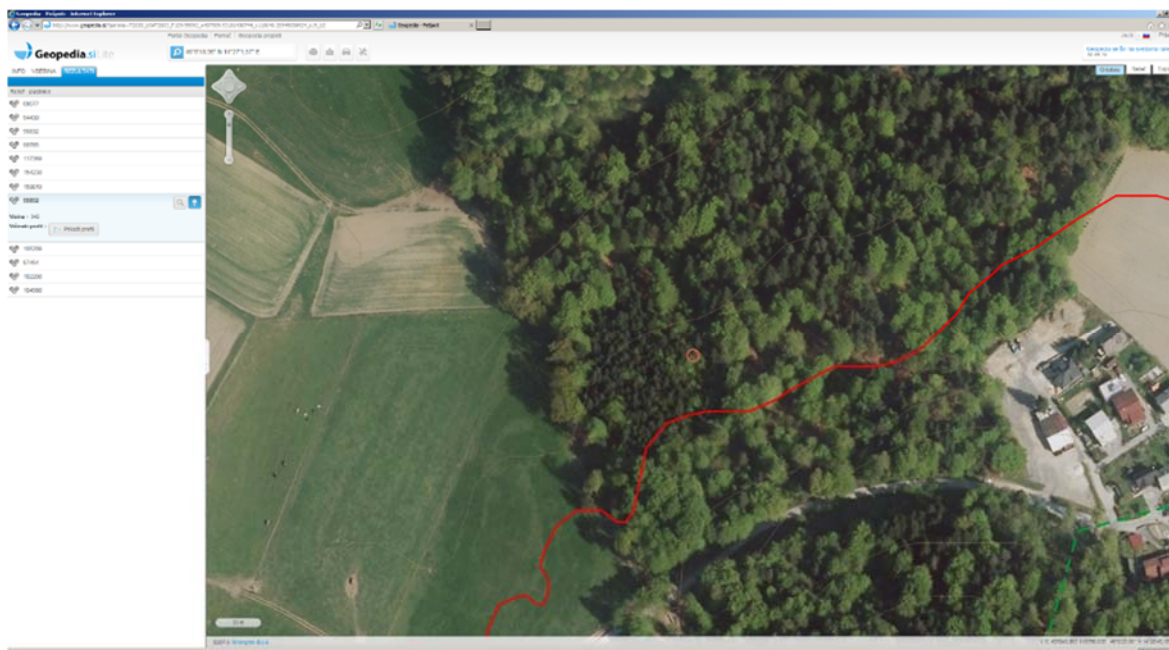


Slika 7: Digitalni ortofoto posnetek lokacije v Preski pri Medvodah. Vir: Geopedia, 2016. (http://www.geopedia.si/?params=T2653_b5#T2653_F109:117369_x454350.73273691535_y109624.16510161478_s19_b2 (16. jul. 2016; 15:24))



Slika 8: Rastišče tevja v Preski pri Medvodah. Foto: Griša Planinc

b) Zavrh pod Šmarno goro (Slika 9-10, Preglednica 1): WGS84 koordinate 46°8'18,96" N 14°27'1,57" E; nadmorska višina 340 m n. m. (odčitano na <http://www.geopedia.si>; DOF; plastnice). V mešanem gozdu. Združba rdečega bora in borovnice (*Vaccinio myrtilli-Pinetum sylvestris*) (odčitano na Geopedia, 2016; Karta gozdnih združb Slovenije, 2016).



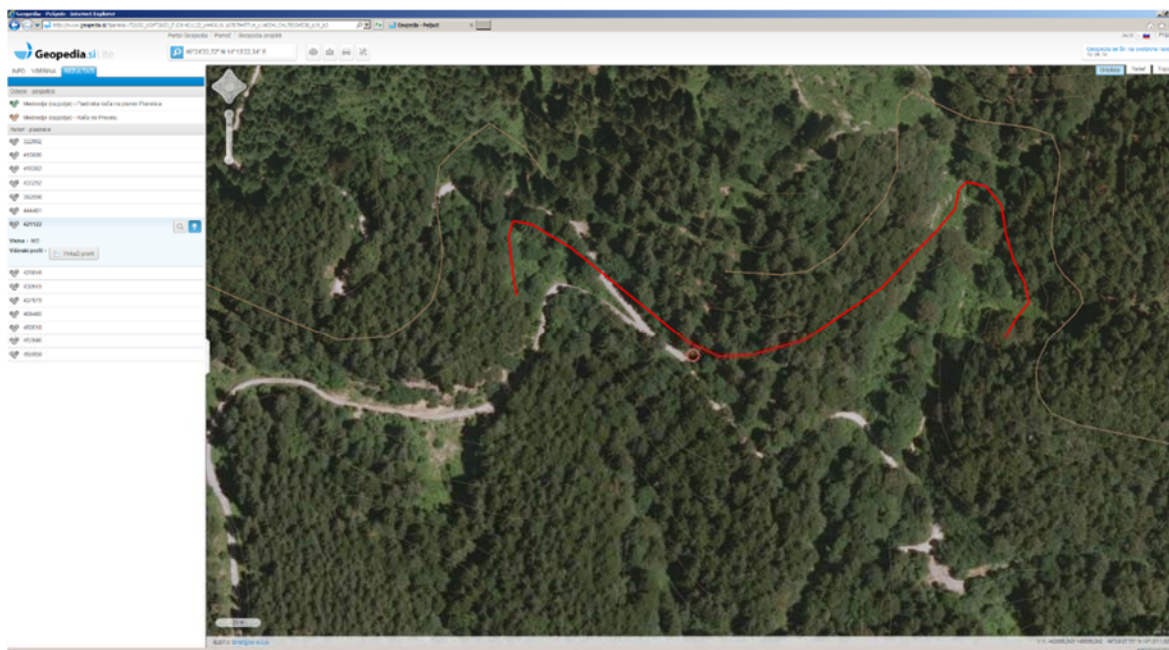
Slika 9: Digitalni ortofoto posnetek lokacije v Zavrhu pod Šmarno goro. Vir: Geopedia, 2016 (http://www.geopedia.si/?params=T2653_b5#T2653_F109:99785_x457909.93181438744_y110640.28949680924_s19_b2 (16. jul. 2016; 15:27))



Slika 10: Rastišče tevja v Zavru pod Šmarno goro. Foto: Griša Planinc

Lokacija z višjo nadmorsko lego:

c) Južno pobočje Begunjščice (Slika 11-12, Preglednica 1): WGS84 koordinate 46°24'22,72" N 14°13'22,34" E; nadmorska višina 980 m n. m. (odčitano na <http://www.geopedia.si>; DOF; plastnice). Pobočje z JZ lego, ob makadamski cesti v pretežno iglastem gozdu. Drugotna združba navadne smreke in vijugaste masnice (*Avenello flexuosae-Piceetum*) (odčitano na Geopedia, 2016; Karta gozdnih združb Slovenije, 2016).



Slika 11: Digitalni ortofoto posnetek lokacije na južnem pobočju Begunjščice. Vir: Geopedia, 2016 (http://www.geopedia.si/?params=T2653_b5#T2653_F109:421122_x440619.16787947714_y140541.04178054538_s19_b2) (16. jul. 2016; 15:42))



Slika 12: Rastišče tevja na južnem pobočju Begunjščice. Foto: Griša Planinc

Preglednica 1: Preglednica s kraji in datumi nabiranja rastlin (razvrščeno od najzgodnejšega do najpoznejšega datuma).

| Šifra | Datum nabiranja | Kraj nabiranja |
|----------|-----------------|--|
| PLM niž. | 07.04.2016 | Preska pri Medvodah in Zavrh pod Šmarno goro |
| PLC niž. | 07.04.2016 | Preska pri Medvodah |
| SLR niž. | 07.04.2016 | Preska pri Medvodah |
| PLC viš. | 13.04.2016 | Južno pobočje Begunjščice |
| PLM viš. | 13.04.2016 | Južno pobočje Begunjščice |
| SLN viš. | 13.04.2016 | Južno pobočje Begunjščice |
| SLN niž. | 15.04.2016 | Preska pri Medvodah |
| PLP niž. | 26.04.2016 | Preska pri Medvodah |
| PLP viš. | 26.04.2016 | Južno pobočje Begunjščice |
| SLR viš. | 26.04.2016 | Južno pobočje Begunjščice |

3.2.2 Specifična listna površina

Iz svežih podpornih in pritličnih listov tevja smo izrezali krožce z znanim premerom (8, 9 ali 10 mm). Število odvzetih vzorcev je prikazano v Preglednici 2 (skupaj 100 vzorcev). Krožce smo sušili 24 ur pri temperaturi 105°C (sušilnik Memmert Beschickung - Loading Modell 100-800, Germany), jih nato stehali s tehtnico z natančnostjo 0,1 mg (Sartorius) (suha masa) ter zavrgli. Izračunali smo specifično listno površino (SLA), ki je količnik med površino vzorca in njegovo suho maso [$\text{cm}^2\text{mg}^{-1}$]. Definira gostoto listnega tkiva - gostejši kot je list, manjša je SLA.

Preglednica 2: Število odvzetih vzorcev za merjenje specifične listne površine.

| Tip lista | število odvzetih vzorcev z lokacij z nižjo nadmorsko lego (Preska pri Medvodah, Zavrh pod Šmarno goro) | število odvzetih vzorcev z lokacije z višjo nadmorsko lego (južno pobočje Begunjščice) |
|-----------|--|--|
| PLM | 10 | 10 |
| PLC | 10 | 10 |
| PLP | 10 | 10 |
| SLN | 10 | 10 |
| SLR | 10 | 10 |
| SKUPAJ | 50 | 50 |

3.2.3 Biokemijske analize

Za centrifugiranje vzorcev smo uporabili centrifugo Sigma 2-16 PK, Germany, ekstinkcije pri izbranih valovnih dolžinah pa smo merili z UV/VIS spektrofotometrom Lambda 25, Perkin-Elmer, Norwalk, CT, USA. Uporabili smo navadne kivete, pri merjenju v UV območju pa kvarčne.

3.2.3.1 Klorofili in karotenoidi

Vsebnost klorofilov *a* in *b* ter karotenoidov smo določali po metodi Lichtenthaler in Buschmann (2001a, 2001b). Sveže vzorce (enako število vzorcev kot za ugotavljanje SLA; premer vseh krožcev 5 mm) smo strli v terilnici, ekstrahirali v 4 ml acetona (100 % (v/v)) in centrifugirali (4000 rpm, 4°C, 4 min) v centrifugirkah za klorofil in odčitali prostornine ekstraktov. Ekstinkcije smo izmerili z UV/VIS spektrofotometrom pri valovnih dolžinah 470, 645 in 662 nm. Vsebnost klorofilov (Kl *a* in Kl *b*) ter karotenoidov (Kar) smo izrazili na suho maso vzorca (g) oziroma površino vzorca (cm²).

$$Kl\ a \left[\frac{mg}{g} \text{ SS} \right] = \frac{c_a \cdot V}{ss \cdot 10^3} = \frac{(11,24 \cdot E_{662} - 2,04 \cdot E_{645}) \cdot V}{ss \cdot 10^3} \quad \dots (1)$$

$$Kl\ b \left[\frac{mg}{g} \text{ SS} \right] = \frac{c_b \cdot V}{ss \cdot 10^3} = \frac{(20,13 \cdot E_{645} - 4,19 \cdot E_{662}) \cdot V}{ss \cdot 10^3} \quad \dots (2)$$

$$Kar \left[\frac{mg}{g} \text{ SS} \right] = \frac{(10^3 \cdot E_{470} - 1,9 \cdot c_a - 63,14 \cdot c_b) \cdot V}{ss \cdot 10^3 \cdot 214} \quad \dots (3)$$

c_a - koncentracija klorofila *a* [µg/ml]

c_b - koncentracija klorofila *b* [µg/ml]

V - prostornina ekstrakta [ml]

ss - suha masa vzorca [g]

E - ekstinkcija pri izbrani valovni dolžini

$$Kl\ a \left[\frac{mg}{cm^2} \text{ SS} \right] = \frac{c_a \cdot V}{P \cdot 10^3} = \frac{(11,24 \cdot E_{662} - 2,04 \cdot E_{645}) \cdot V}{P \cdot 10^3} \quad \dots (4)$$

$$Kl\ b \left[\frac{mg}{cm^2} \text{ SS} \right] = \frac{c_b \cdot V}{P \cdot 10^3} = \frac{(20,13 \cdot E_{645} - 4,19 \cdot E_{662}) \cdot V}{P \cdot 10^3} \quad \dots (5)$$

$$Kar \left[\frac{mg}{cm^2} \text{ SS} \right] = \frac{(10^3 \cdot E_{470} - 1,9 \cdot c_a - 63,14 \cdot c_b) \cdot V}{P \cdot 10^3 \cdot 214} \quad \dots (6)$$

c_a - koncentracija klorofila *a* [µg/ml]

c_b - koncentracija klorofila *b* [µg/ml]

V - prostornina ekstrakta [ml]

P - površina vzorca [cm²]

E - ekstinkcija pri izbrani valovni dolžini

3.2.3.2 Antociani

Vsebnost antocianov smo določali po Drumm-u in Mohr-u (1978). Sveže vzorce (enako število vzorcev kot za ugotavljanje SLA; premer vseh krožcev 5 mm) smo strli v terilnici, jih ekstrahirali v 4 ml ekstrakcijskega medija (metanol : HCl (37 %) = 99 : 1 (v/v)), jih centrifugirali (4000 rpm, 4°C, 4 min) in odčitali prostornine ekstraktov. Vzorce smo shranili v hladilniku (tema, 3-5°C). Ekstinkcije smo merili pri valovnih dolžinah 510 nm in 530 nm z UV/VIS spektrofotometrom. Vsebnost antocianov (Ant) izrazimo v relativnih enotah na suho maso vzorca (g) in na površino vzorca (cm²).

$$Ant [relativna enota] = \frac{E_{510} \cdot V}{ss}; Ant [relativna enota] = \frac{E_{510} \cdot V}{P} \quad \dots (7)$$

$$Ant [relativna enota] = \frac{E_{530} \cdot V}{ss}; Ant [relativna enota] = \frac{E_{530} \cdot V}{P} \quad \dots (8)$$

E – ekstinkcija pri izbrani valovni dolžini

V - prostornina ekstrakta [ml]

ss - suha masa vzorca [g]

P – površina vzorca [cm²]

3.2.3.3 UV absorbirajoče snovi

Vsebnost UV-B in UV-A absorbirajočih snovi smo določali po Caldwell-u (1968) (UV-B 280-319 nm, UV-A 320-400 nm). Sveže vzorce (enako število vzorcev kot za ugotavljanje SLA; premer vseh krožcev 5 mm) smo strli v terilnici, ekstrahirali v 4 ml ekstrakcijskega medija (metanol : destilirana voda : HCl (37 %) = 79 : 20 : 1 (v/v)) in za 20 min inkubirali v temi. Sledilo je centrifugiranje (4000 rpm, 10°C, 10 min), nato smo odčitali prostornine ekstraktov. Ekstinkcije pri valovnih dolžinah od 280 do 400 nm smo določili z UV/VIS spektrofotometrom. Vsebnosti UV absorbirajočih snovi (UV abs) smo izračunali kot integral ekstinkcijskih vrednosti od 280 do 319 nm (UV-B) ter od 320 do 400 nm (UV-A) in jih izrazili v relativnih enotah na suho maso vzorca (g) in na površino vzorca (cm²).

$$UV \text{ abs } [relativna enota] = \frac{I}{V \cdot ss}; UV \text{ abs } [relativna enota] = \frac{I}{V \cdot P} \quad \dots (8)$$

I – integral ekstinkcijskih vrednosti v intervalu 280-319 nm (UV-B abs) ter 320-400 nm (UV-A abs)

V - prostornina ekstrakta [ml]

ss - suha masa vzorca [g]

P – površina vzorca [cm²]

Integral ekstinkcijskih vrednosti je seštevek vseh dobljenih vrednosti v določenem intervalu.

3.2.4 Merjenje spektrov

Odbojne in prepustne spektre smo merili v laboratoriju na svežih podpornih in pritličnih listih tevja s spektrofotometrom Jaz Modular Optical Sensing Suite. Uporabljali smo sfero ISP-30-6-R, optične kable QP600-1-SR-BX, UV-VIS-NIR svetlobni vir DH-2000 in računalniški program SpectraSuite. Vso opremo je izdelal proizvajalec Ocean Optics Inc., Dunedin, Florida, USA.

Pred vsakim merjenjem smo napravo kalibrirali. Za določitev 100 % odboja in prepustnosti smo svetlobni vir usmerili na bel standard, za določitev 0 % odboja in prepustnosti pa smo izklopili svetlobni vir in sfero usmerili na temen standard. S prekritjem sfere s črnim blagom smo izničili morebiten vpliv dnevne svetlobe.

3.2.4.1 Merjenje odbojnih spektrov

Za merjenje odbojnih spektrov smo sfero prek optičnih kablov povezali s svetlobnim virom in s spektrofotometrom. Sfero smo položili na podporni oziroma pritlični list tako, da je žarek svetlobe padel pravokotno na zgornjo listno ploskev in se od nje odbil. Delež odbite svetlobe je zaznal senzor v sferi, ki je podatke prenesel na spektrofotometer.

3.2.4.2 Merjenje prepustnih spektrov

Za potrebe merjenja prepustnih spektrov smo usmerili svetlobni žarek pravokotno na zgornjo listno ploskev. Na drugi strani lista, kjer je svetloba presevala, smo namestili sfero. Delež transmitirane svetlobe je zaznal senzor v sferi, ki je podatke prenesel na spektrofotometer.

3.2.5 Statistična obdelava podatkov

Podatke smo uredili v programu Microsoft Excel 2016. Rezultate obdelave biokemijskih in morfoloških parametrov smo prikazali z box plot diagrami. Diagrami so razdeljeni v 4 četrtine. Ročaji predstavljajo mejne vrednosti, osrednja vodoravna črta predstavlja srednjo vrednost (mediano). Ekstremne vrednosti so prikazane s piko, povprečna vrednost pa s križcem. S črkami smo označili statistično značilne razlike.

Za testiranje normalne porazdelitve podatkov za posamezni tip lista smo uporabili Shapiro-Wilk test. Statistično značilne razlike med biokemijskimi oz. morfološkimi lastnostmi med posameznimi tipi listov smo preverili z ANOVA testom (če so bile porazdelitve podatkov normalne za vse tipe listov) ali s Kruskal – Wallis testom z Bonferronijevo korekcijo (če je bila porazdelitev podatkov vsaj pri enem tipu lista nenormalna).

Za izdelavo boxplot-ov, za izračun normalnosti podatkov s Shapiro-Wilk testom in izračun s Kruskal-Wallis testom smo uporabili Microsoft Excel 2013 z dodatkom (XLSTAT, Addinfost, ZDA).

Iz podatkov za odbojnost in prepustnost smo izračunali povprečja desetih listov pri posamezni valovni dolžini in izdelali linijske grafe v programu Microsoft Office Excel 2016. Negativne vrednosti in vrednosti nad 100 % smo izločili iz grafov in nadaljnjih preračunov, saj jih pripisujemo napakam aparature za merjenje spektrov. Surove vrednosti odbojnosti oz. presevnosti pri posamezni valovni dolžini in pri posameznem vzorcu določenega tipa lista smo razdelili v 8 barvnih pasov (UV-B: 280-319 nm, UV-A: 320-399 nm, vijolična: 400-454 nm, modra: 455-499 nm, zelena: 500-579 nm, rumena: 580-619 nm, rdeča: 620-699 nm, NIR: 700-820 nm) ter izračunali povprečno rednost odbojnost/prepustnost za posamezen barvni pas na vzorec. Statistično značilne razlike v posameznih delih odbojnih in presevnih spektrov pri različnih tipih listov smo preverili z ANOVA testom (v primeru, da je bila porazdelitev podatkov pri seh tipih lista normalna) ali s Kruskal-Wallis testom (v primeru, da je bila porazdelitev podatkov vsaj pri enem tipu lista nenormalna).

Morebitno korelacijo med povprečnimi vrednostmi prepustnosti oziroma odbojnosti za vsak del spektra ter biokemijskimi/morfološkimi lastnostmi smo izračunali s pomočjo Spearmanovega korelacijskega koeficienta. Izračune smo opravili s programom Past. V statističnih tabelah (Košmelj 2007) smo odčitali vrednost Spearmanovega koeficienta korelacije r za določeno velikost vzorca. Rezultate smo tabelarično in grafično prikazali s pomočjo programa R. Statistično značilne razlike smo označili z barvami ($p \leq 0,05$ z rumeno in $p \leq 0,01$ z oranžno).

Klastersko analizo (analizo podobnosti) smo izdelali v programu Past z Bray-Curtis-ovim indeksom podobnosti. Rezultati so prikazani obliki dendrogramov. Izdelali smo dendrograme za odbojnost, presevnost, biokemijske parametre ter ločeno UV absorbirajoče snovi.

Z multivariatno redundančno analizo (RDA) smo ugotavljali vpliv morfoloških/biokemijskih parametrov na optične spektre. RDA smo izdelali s pomočjo

programa CANOCO for Windows 4.5. Statistično značilnost vpliva določenega parametra smo testirali z Monte Carlo permutacijskim testom. Stopnja statistične značilnosti je bila sprejeta pri $p < 0,05$. Rezultate smo predstavili tabelah. Rezultati povedo kateri parametri statistično značilno vplivajo na optične lastnosti ter koliko % optičnih lastnosti razloži posamezen izmed parametrov. V analizo smo vključili samo statistično značilne spremenljivke ($p \leq 0,05$).

4 REZULTATI

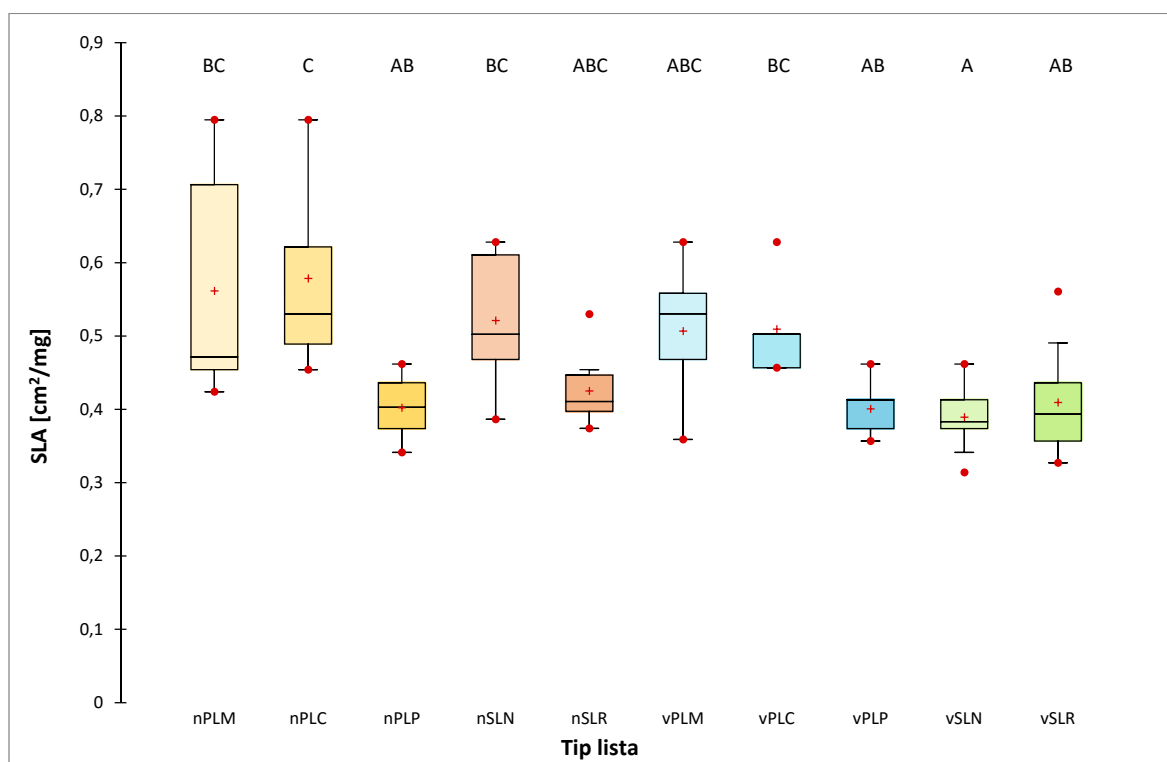
Med seboj smo primerjali:

- posamezen tip podpornih/pritličnih listov na obeh nadmorskih višinah
- različne tipe podpornih/pritličnih listov v nižini
- različne tipe podpornih/pritličnih listov na višji nadmorski višini
- podporne in pritlične liste v nižini
- podporne in pritlične liste na višji nadmorski višini

V besedilu opisujemo le statistično značilne razlike.

4.1 MORFOLOŠKE ANALIZE

4.1.1 Specifična listna površina



Slika 13: Specifična listna površina pri različnih tipih listov pri tevju. nPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., vPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v., nPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v., vPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., nPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., vPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., nSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., vSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., nSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., vSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; n=10. S črkami A, B in C so označene statistično značilne razlike (Kruskal-Wallis test; Bonferroni korigirana $\alpha=0,05$ je $\leq 0,0011$).

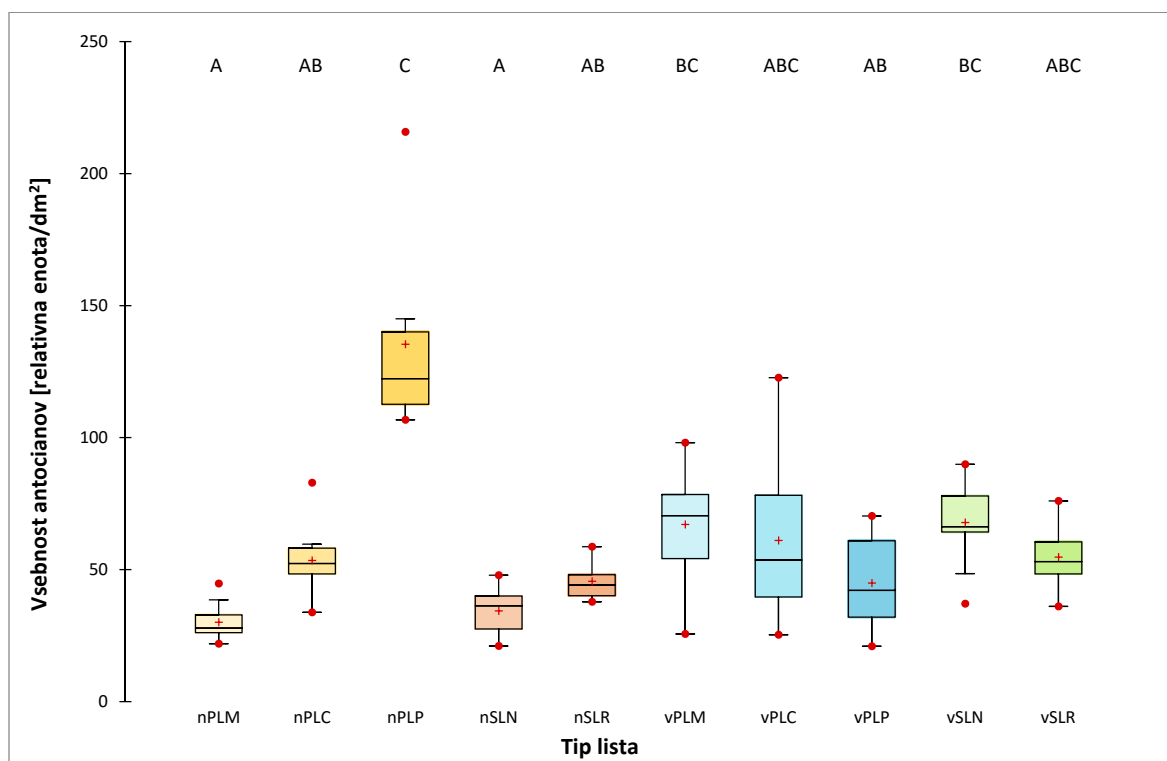
Pri nižinskih podpornih listih je specifična listna površina z razvojem kobula upadala (Slika 13). Najmanjša je bila pri podpornih listih plodečega kobula, toda razlika je statistično značilna le med podpornimi listi plodečega in cvetočega kobula. Na višji

nadmorski višini je prav tako opazna težnja upadanja SLA pri podpornih listih, toda razlike niso statistično značilne. Tudi pri pritličnih listih v nižini lahko opazimo zmanjševanje v SLA z razvojem listov, toda razlike niso statistično značilne. Pri primerjavi posameznih tipov pritličnih listov glede na nadmorsko višino smo ugotovili, da je specifična listna površina nerazvitih listov v nižini statistično značilno večja od nerazvitih pritličnih listov na višji nadmorski višini. Na višji nadmorski višini se podporni listi cvetočega kobula statistično značilno razlikujejo le od nerazvitih pritličnih listov, pri čemer imajo pritlični listi nižjo specifično listno površino.

4.2 BIOKEMIJSKE ANALIZE

4.2.1 Antociani

Vsebnosti antocianov smo merili pri 510 in 530 nm in jih prikazali na suho maso in površino. Med rezultati predstavljamo le vsebnosti antocianov pri 530 nm podane na površino, ki so izhodišče za razlago variabilnosti optičnih lastnosti listov. Ostali rezultati meritev so prikazani v Prilogi A.

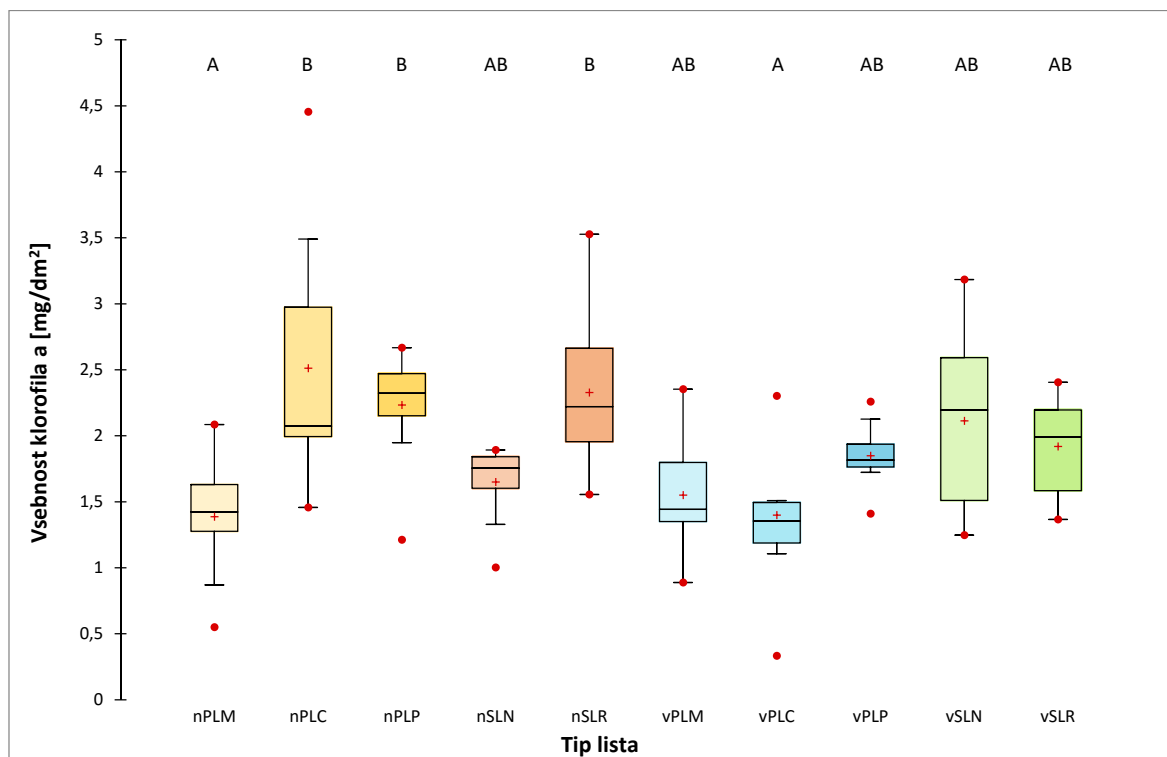


Slika 14: Vsebnost antocianov (merjeno pri 530 nm) na površino pri različnih tipih listov pri tevju. nPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., vPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v., nPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v., vPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., nPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., vPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., nSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., vSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., nSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., vSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; n=10. S črkami A, B in C so označene statistično značilne razlike (Kruskal-Wallis test; Bonferroni korigirana $\alpha=0,05$ je $\leq 0,0011$).

Pri nižinskih podpornih listih je količina antocianov z razvojem kobula naraščala. Največja je bila pri plodečem kobulu in se je statistično značilno razlikovala od količin pri mladem in cvetočem kobulu (Slika 14). Podporni listi mladih kobulov v nižini imajo statistično značilno manj antocianov kot isti tip podpornih listov na višji nadmorski višini. Ravno obratno pa je pri podpornih listih pri plodečem kobulu v nižini statistično značilno več antocianov kot pa pri istem tipu lista na višji nadmorski višini. V nižinah je bila vsebnost antocianov pri nerazvitih pritličnih listih statistično značilno nižja v primerjavi z nerazvitimi listi na višjih nadmorskih višinah. Na nižji nadmorski višini je vsebnost antocianov v podpornih listih plodečega kobula statistično značilno večja od obeh pritličnih listov.

4.2.2 Klorofili

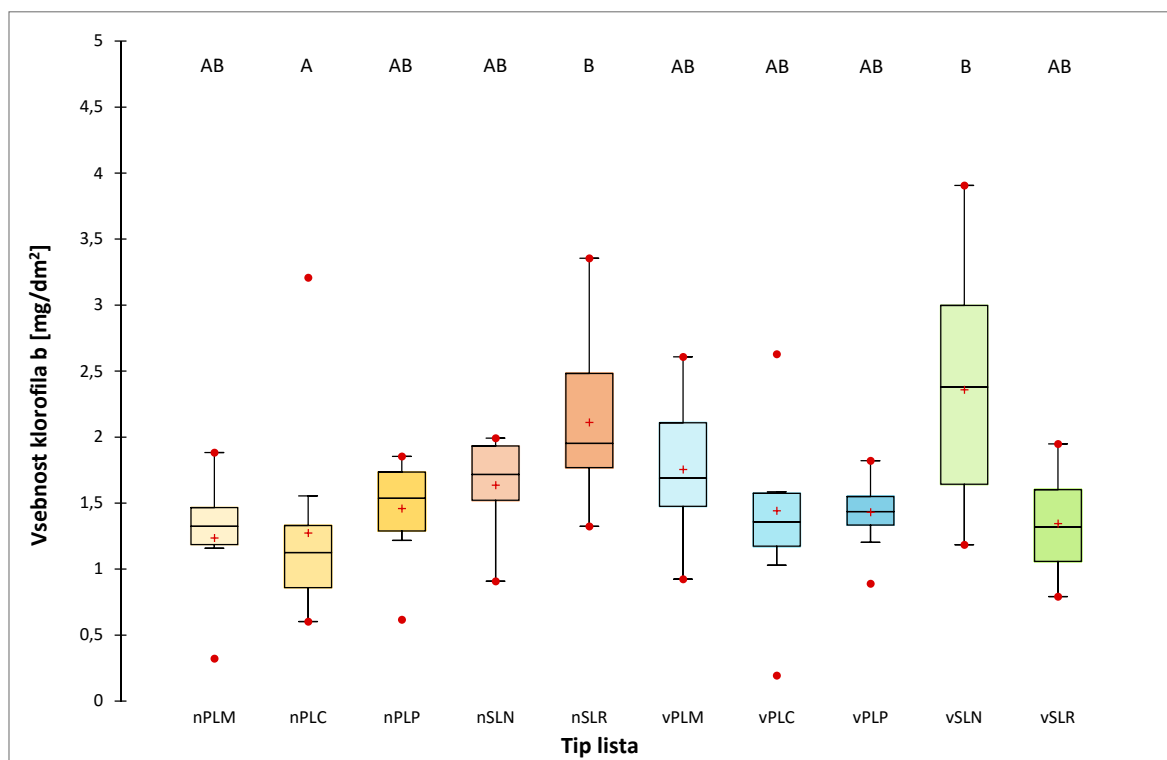
Vsebnosti klorofilov *a* in *b* smo prikazali na suho maso in površino. Med rezultati predstavljamo le vsebnosti klorofila *a* in *b* podane na površino, ki so izhodišče za razlago variabilnosti optičnih lastnosti listov. Ostali rezultati meritev so prikazani v Prilogi B.



Slika 15: Vsebnost klorofila *a* na površino pri različnih tipih listov pri tevju. nPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., vPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v., nPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. vPCL – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., nPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., vPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., nSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., vSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., nSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., vSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; n=10. S črkama A in B so označene statistično značilne razlike (Kruskal-Wallis test; Bonferroni korigirana $\alpha=0,05$ je $\leq 0,0011$).

Pri nižinskih podpornih listih je bila količina klorofila *a* najnižja pri mladem kobulu in se je statistično značilno razlikovala od količin pri cvetočem in plodečem kobulu (Slika 15).

Podporni listi cvetočih kobulov v nižini imajo statistično značilno več klorofila *a* kot isti tip podpornih listov na višji nadmorski višini. Pri primerjavi pritličnih in podpornih listov v nižini je bila statistično značilna razlika le med podpornimi listi mladega kobula in razvitimi pritličnimi listi. Pritlični listi imajo več klorofila *a*.



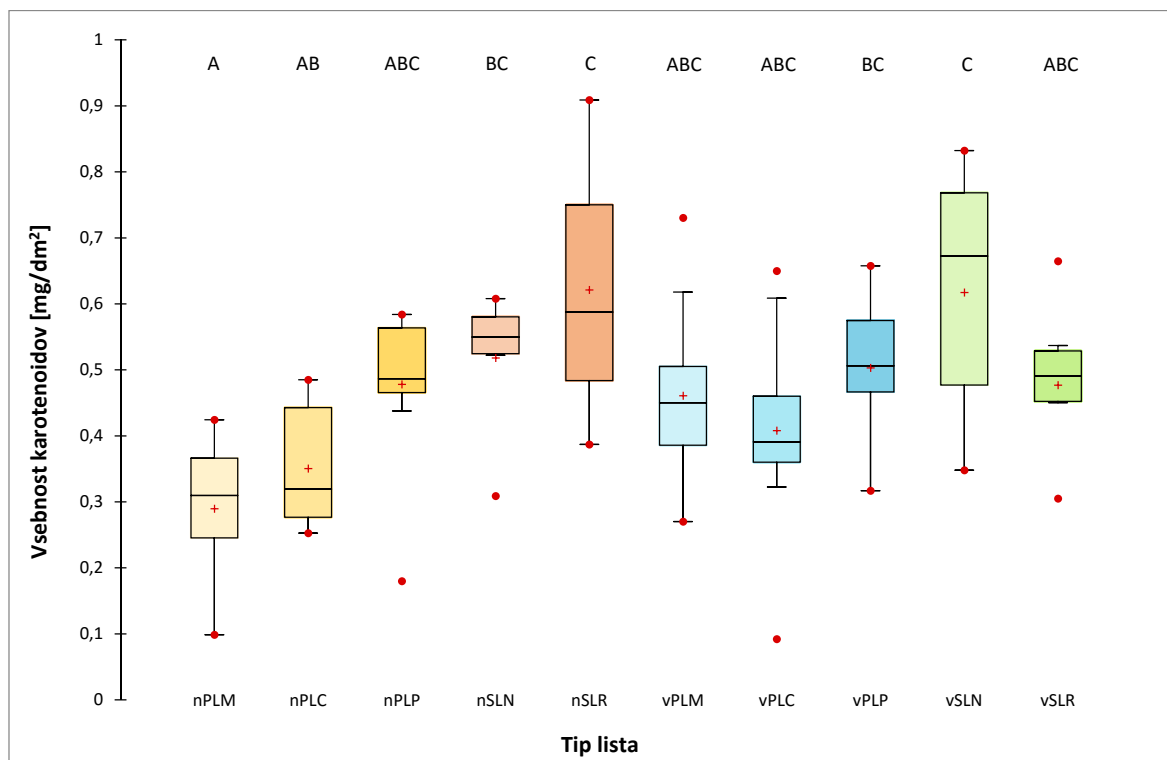
Slika 16: Vsebnost klorofila *b* na površino pri različnih tipih listov pri tevju. nPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., vPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v, nPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. vPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., nPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., vPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., nSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., vSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., nSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., vSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; n=10. S črkama A in B so označene statistično značilne razlike (Kruskal-Wallis test; Bonferroni korigirana $\alpha=0,05$ je $\leq 0,0011$).

Statistično značilnih razlik v vsebnosti klorofila *b* med pritličnimi listi na višji nadmorski višini ni bilo, čeprav je bila vsebnost klorofila *b* pri nerazvitih pritličnih listih višja od vsebnosti v razvitih listih (Slika 16). Pri primerjavi pritličnih in podpornih listov v nižini je bila statistično značilna razlika le med podpornimi listi cvetočega kobula in razvitimi pritličnimi listi. Pritlični listi imajo več klorofila *b*.

4.2.2 Karotenoidi

Vsebnosti karotenoidov smo prikazali na suho maso in površino. Med rezultati predstavljamo le vsebnosti podane na površino, ki so izhodišče za razlago variabilnosti optičnih lastnosti listov. Ostali rezultati meritev so prikazani v Prilogi 3.

Pri vseh tipih listov pri tevju je bila vsebnost karotenoidov bistveno manjša od vsebnosti klorofila *a* in *b*.

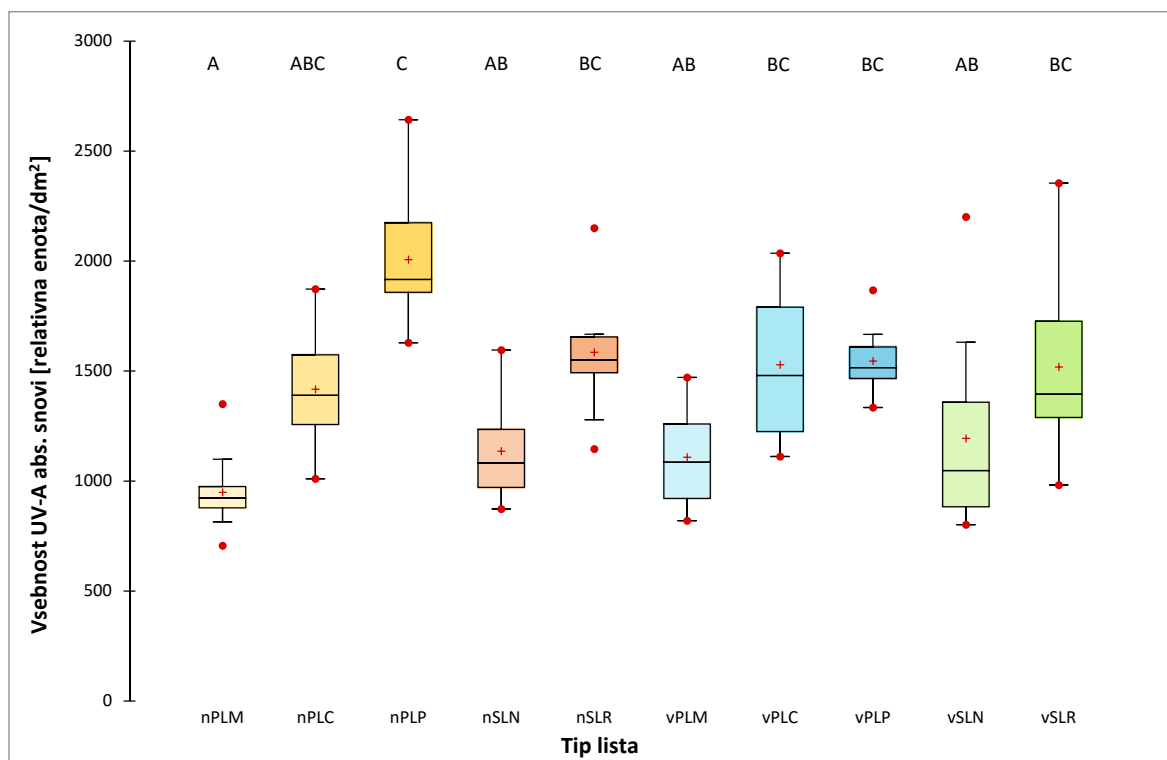


Slika 17: Vsebnost karotenoidov na površino pri različnih tipih listov pri tevju. nPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., vPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v., nPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. vPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., nPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., vPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., nSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., vSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., nSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., vSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; n=10. S črkami A, B in C so označene statistično značilne razlike (Kruskal-Wallis test; Bonferroni korigirana $\alpha=0,05$ je $\leq 0,0011$).

V nižini je bilo v razvitih pritličnih listih največ karotenoidov (Slika 17). Ta vrednost se statistično značilno razlikuje od vsebnosti pri podpornih listih pri mladem in cvetočem kobulu. Podporni listi pri mladem kobulu imajo v nižini statistično manj karotenoidov tudi od nerazvitih pritličnih listov.

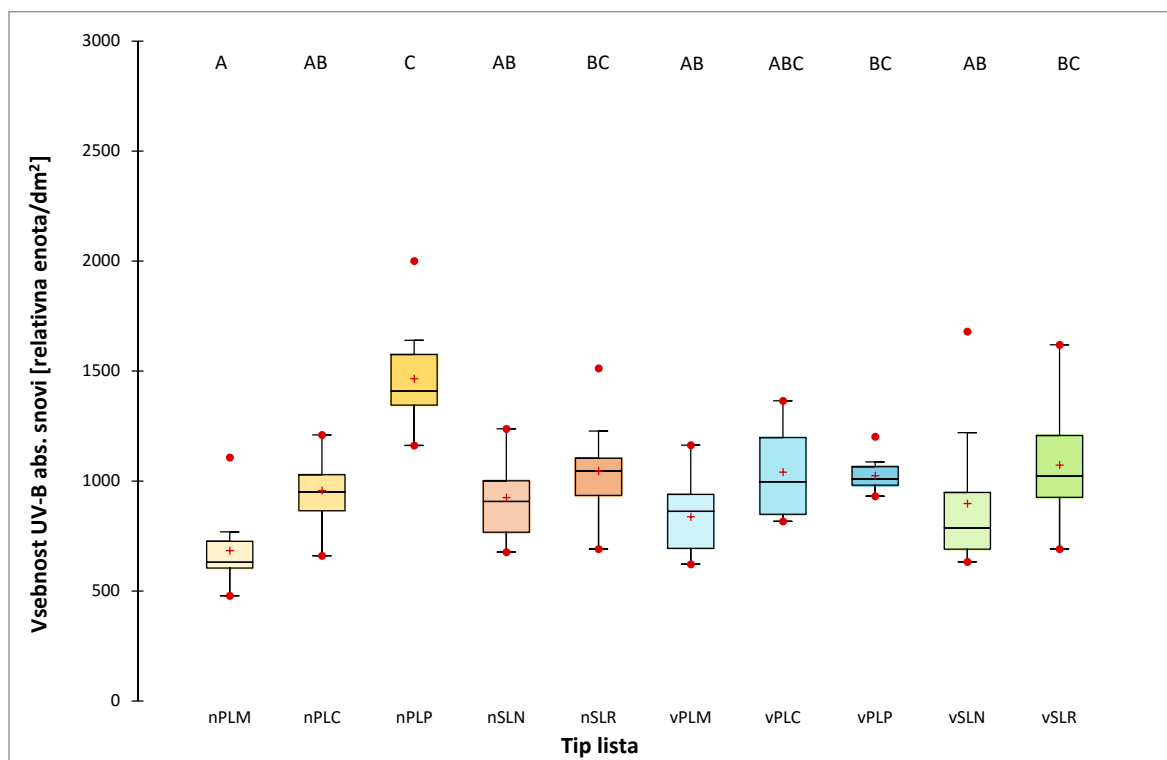
4.2.3 UV absorbirajoče snovi

Vsebnosti UV-A in UV-B absorbirajočih snovi smo prikazali na suho maso in površino. Med rezultati predstavljamo le vsebnosti podane na površino, ki so izhodišče za razlago variabilnosti optičnih lastnosti listov. Ostali rezultati meritev so prikazani v Prilogi 4.



Slika 18: Vsebnost UV-A absorbirajočih snovi na površino pri različnih tipih listov pri tevju. nPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., vPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v, nPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. vPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., nPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., vPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., nSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., vSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., nSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., vSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; n=10. S črkami A, B in C so označene statistično značilne razlike (Kruskal-Wallis test; Bonferroni korigirana $\alpha=0,05$ je $\leq 0,0011$).

Pri nižinskih podpornih listih je količina UV-A absorbirajočih snovi naraščala z zrelostjo kobula (Slika 18). Vsebnost snovi pri plodečem kobulu se statistično značilno razlikuje od vsebnosti pri mladem kobulu. Na višji nadmorski višini je težnja naraščanja v količini UV-A absorbirajočih snovi pri podpornih listih z zrelostjo kobula manj izrazita, prav tako ni statistično značilnih razlik med tipi podpornih listov. Primerjava pritličnih in podpornih listov med seboj na nižjih nadmorskih višinah pokaže, da so bile statistično značilne razlike med podpornimi listi mladih kobulov in razvitimi pritličnimi listi. Slednji so imeli več UV-A absorbirajočih snovi. Razlike so bile tudi med nerazvitimi pritličnimi listi in podpornimi listi plodečih kobulov. Slednji so imeli več UV-A absorbirajočih snovi.



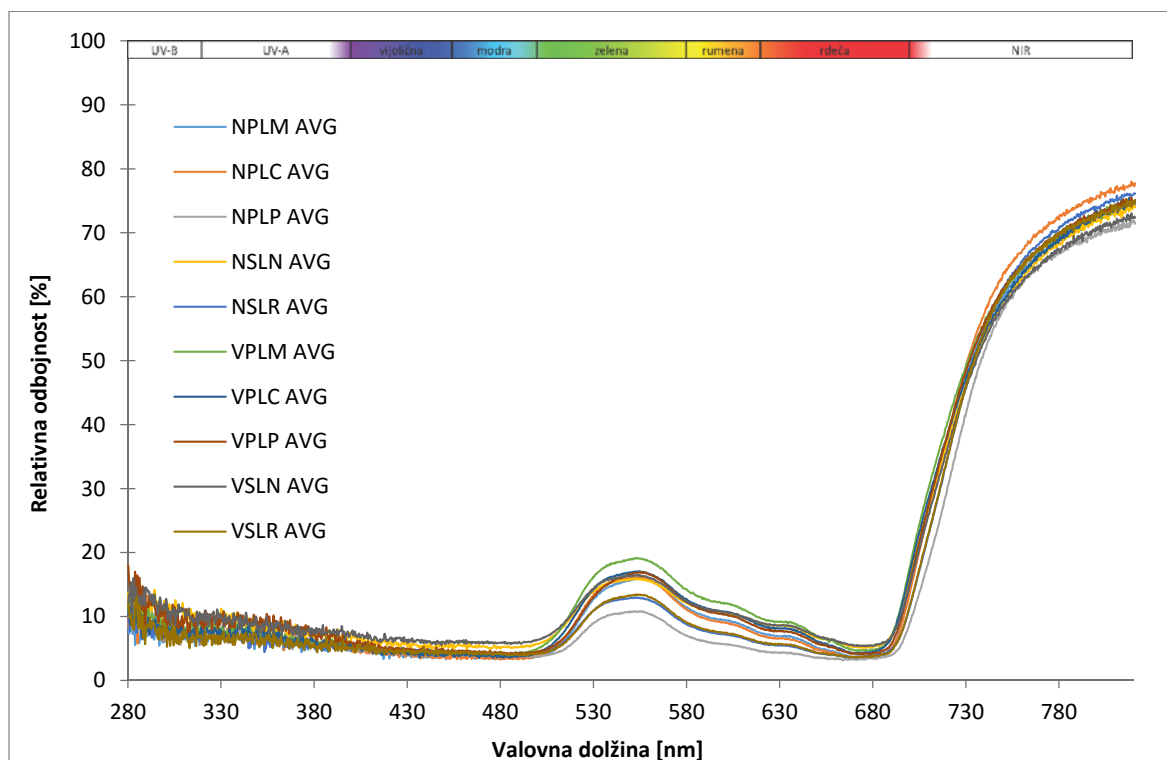
Slika 19: Vsebnost UV-B absorbirajočih snovi na površino pri različnih tipih listov pri tevju. nPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., vPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v, nPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. vPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., nPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., vPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., nSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., vSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., nSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., vSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; n=10. S črkami A, B in C so označene statistično značilne razlike (Kruskal-Wallis test; Bonferroni korigirana $\alpha=0,05$ je $\leq 0,0011$).

Pri nižinskih podpornih listih je količina UV-B absorbirajočih snovi naraščala z zrelostjo kobula (Slika 19). Vsebnosti snovi pri plodečem kobulu se statistično značilno razlikujejo od vsebnosti snovi pri mladem in cvetočem kobulu. Na višji nadmorski višini je težnja naraščanja v količini UV-B absorbirajočih snovi pri podpornih listih z zrelostjo kobula manj izrazita, prav tako ni statistično značilnih razlik med tipi podpornih listov. Primerjava pritličnih in podpornih listov med seboj na nižjih nadmorskih višinah pokaže, da so bile statistično značilne razlike med podpornimi listi mladih kobulov in razvitimi pritličnimi listi. Slednji so imeli več UV-B absorbirajočih snovi. Statistično značilne razlike so bile tudi med nerazvitimi pritličnimi listi in podpornimi listi plodečih kobulov. Slednji so imeli več UV-B absorbirajočih snovi.

4.3. ODBOJNOST IN PRESEVNOST LISTA

Rezultati Kruskal Wallis testa in ANOVE so prikazani v Prilogi F.

4.3.1 Odbojnost lista



Slika 20: Spektri odbojnosti različnih tipov listov pri tevju. NPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., VPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v, NPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. VPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., NPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., VPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., NSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., VSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., NSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., VSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; krivulje prikazujejo povprečje 10 vzorcev.

Oblika odbojnega spektra je pri vseh tipih lista podobna (Slika 20). Odbojnost je najvišja v območju NIR sevanja (od približno 720 nm naprej) in najnižja v modrem delu spektra ter pri 680 nm. V vidnem delu spektra je pri vseh vrstah opazen vrh v zelenem delu spektra (550 nm). Spektri se statistično značilno razlikujejo v vseh delih odbojnega spektra (Priloga F).

V UV-B spektru so meritve zelo razpršene. V odbojnosti v UV-B spektru se razlikujejo višinski podporni listi pri cvetočih in plodečih kobulih. Slednji imajo višjo odbojnost. Razlike so bile med razvitimi in nerazvitimi listi na obeh nadmorskih višinah, pri čemer so imeli nerazviti višjo odbojnost. V nižini so se pri primerjavi pritlični / podporni listi nerazviti pritlični listi statistično značilno razlikovali od podpornih listov pri mladih in cvetočih kobulih. Imeli so višjo odbojnost. Na višji nadmorski višini so imeli nerazviti pritlični listi statistično značilno večjo odbojnost v primerjavi s podpornimi listi cvetočih

kobulov, razviti pritlični pa so imeli statistično značilno manjšo odbojnost od podpornih listov plodečih kobulov.

V UV-A delu spektra so vrednosti odbojnosti pri vseh tipih listov nižje kot v UV-B spektru. Enako kot v UV-B delu spektra imajo nižinski in višinski razviti pritlični listi ter nižinski podporni listi mladih kobulov statistično značilno nižjo odbojnost kot nižinski in višinski nerazviti pritlični list ter višinski podporni list plodečih kobulov. Statistično značilne razlike so bile med razvitimi in nerazvitimi listi. Nerazviti so imeli višjo odbojnost. V nižini so imeli pri primerjavi pritlični / podporni listi najvišjo odbojnost nerazviti pritlični, ki so se statistično razlikovali od podpornih listov mladih kobulov. Na višji nadmorski višini so imeli razviti pritlični listi statistično značilno nižjo odbojnost kot podporni listi plodečih kobulov.

V vijoličnem delu odbojnega spektra imajo nižinski in višinski podporni listi cvetočega in mladega kobula statistično nižjo odbojnost kot višinski in nižinski nerazviti pritlični listi. Statistično značilno se razlikujeta oba pritlična lista le na višji nadmorski višini. Nerazviti ima višjo odbojnost. Med vsemi nižinskimi so pri primerjavi pritlični / podporni listi statistično značilne razlike med nerazvitimi pritličnimi listi ter podpornimi listi mladih in cvetočih kobulov. Nerazviti pritlični listi so imeli večjo odbojnost. Enaki rezultati so bili tudi pri primerjavi pritlični / podporni listi na višji nadmorski višini.

V modrem delu spektra imajo nižinski in višinski podporni listi cvetočih kobulov ter nižinski podporni listi mladih in plodečih kobulov statistično značilno nižjo odbojnost od višinskih in nižinskih nerazvitih pritličnih listov. V nižini ima pri primerjavi pritlični / podporni listi nerazviti pritlični list statistično značilno višjo odbojnost od vseh podpornih listov. Na višji nadmorski višini ima nerazviti pritlični list statistično značilno višjo odbojnost kot pa podporni listi cvetočih in mladih kobulov.

Spektri odbojnosti različnih tipov listov pri tevju se najbolj očitno razlikujejo med seboj v zelenem delu spektra. Najvišjo relativno odbojnost (okoli 20 %) v tem delu imajo višinski podporni listi mladega kobula, najnižjo (okoli 10 %) pa nižinski podporni list plodečega kobula. V nižini imajo podporni listi plodečih kobulov statistično značilno nižjo odbojnost od ostalih dveh tipov podpornih listov. Razlike so bile pri primerjavi med nadmorskimi višinami očitne le pri podpornih listih plodečih kobulov - na višji nadmorski višini je bila odbojnost višja. Pri primerjavi pritličnih listov so bile razlike statistično značilne le med razvitimi in nerazvitimi listi na višji nadmorski višini. Nerazviti so imeli višjo odbojnost. V nižini ima pri primerjavi pritlični / podporni listi nerazviti pritlični list statistično značilno višjo odbojnost od podpornih listov plodečih kobulov. Na višji nadmorski višini ima pri primerjavi pritlični / podporni listi razviti pritlični list statistično značilno nižjo odbojnost kot pa podporni listi mladih kobulov.

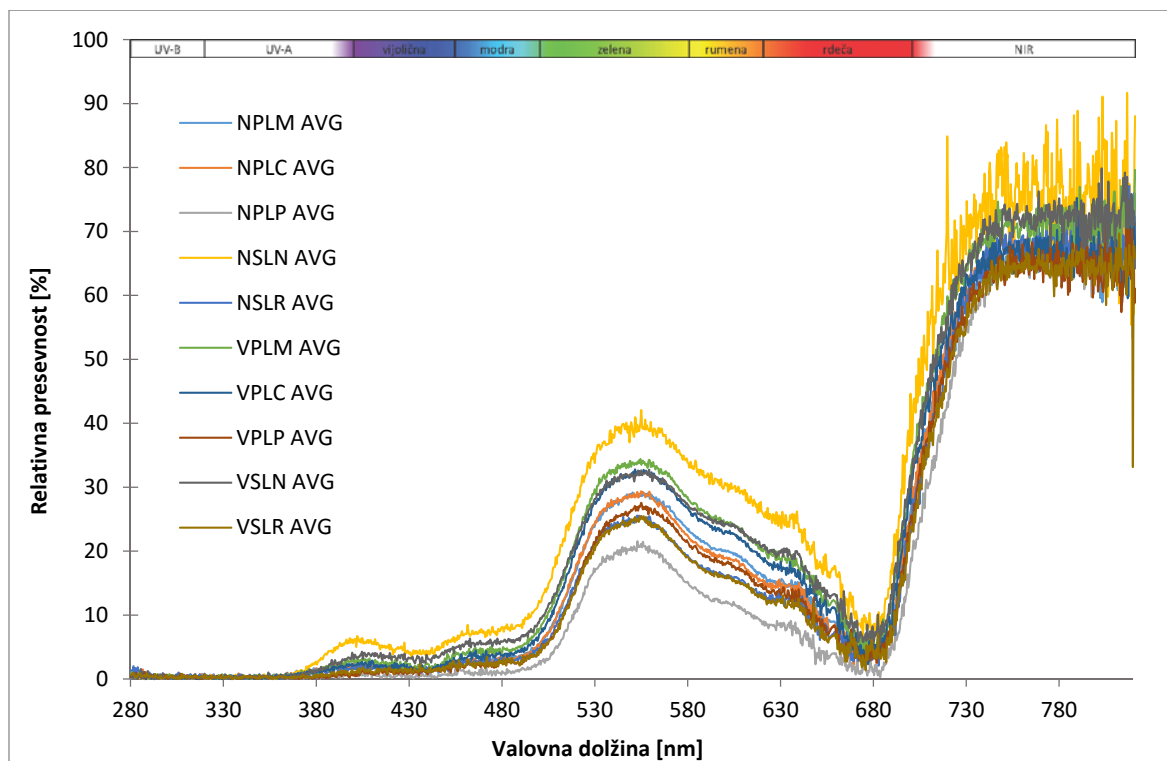
V rumenem delu spektra so imeli nižinski podporni listi plodečih kobulov najnižjo odbojnost, najvišjo odbojnost pa so imeli višinski podporni listi mladih kobulov. Nižinski podporni listi pri plodečem kobulu so imeli najnižjo odbojnost in so se statistično značilno razlikovali od ostalih dveh tipov podpornih listov. Primerjava med nadmorskimi višinami razkrije, da so statistično značilne razlike le pri podpornih listih plodečega kobula. Na višji nadmorski višini je bila višja odbojnost. Razlike so bile med razviti in nerazvitimi listi na

obeh nadmorskih višinah. Nerazviti so imeli višjo odbojnost. Statistično značilne razlike na obeh nadmorskih višinah so bile tudi med podpornimi in pritličnimi listi. V nižini je imel pri primerjavi pritlični / podporni listi nerazviti pritlični list statistično značilno višjo odbojnost od podpornega lista plodečega kobula. Na višji nadmorski je imel razviti pritlični list statistično značilno nižjo odbojnost od podpornih listov cvetočih in mladih kobulov, nerazviti pritlični listi pa so imeli statistično značilno višjo odbojnost od podpornih listov plodečih kobulov.

V rdečem delu spektra so imeli nižinski podporni listi plodečih kobulov prav tako kot v rumenem delu spektra najnižjo odbojnost, najvišjo pa so imeli višinski podporni listi mladih kobulov. V nižini so imeli podporni listi plodečih kobulov statistično značilno nižjo odbojnost od podpornih listov cvetočih in mladih kobulov. Na višji nadmorski višini so imeli statistično značilno nižjo odbojnost le od podpornih listov mladih kobulov. Primerjava odbojnosti posameznih tipov podpornih listov med nadmorskimi višinami pokaže, da je pri vseh razlika statistično značilna, pri čemer je bila na višjih nadmorskih višja. Pri pritličnih listih med nadmorskimi višinami ni bilo razlik, so bile pa statistično značilne med razvitimi in nerazvitimi. Nerazviti so imeli višjo odbojnost. Med podpornimi in pritličnimi listi je v nižini statistično značilna razlika med nerazvitimi pritličnimi listi (visoka odbojnost) in vsemi podpornimi listi. Na višji nadmorski višini ima pri primerjavi pritlični / podporni listi pritlični razviti list statistično značilno nižjo odbojnost od vseh podpornih listov.

Tudi v NIR delu spektra imajo nižinski podporni listi plodečih kobulov najnižjo odbojnost, najvišja pa je bila zabeležena pri nižinskih podpornih listih cvetočega kobula. V nižini so imeli podporni listi plodečih kobulov statistično značilno nižjo odbojnost od podpornih listov cvetočih in mladih kobulov, na višji nadmorski višini pa razlik ni bilo. Primerjava odbojnosti posameznih tipov podpornih listov med nadmorskimi višinami pokaže, da je razlika statistično značilna le pri plodečih kobulih, pri čemer je bila na višjih nadmorskih višja. V nižini so bile razlike med podpornimi in pritličnimi listi statistično značilne med podpornimi listi plodečih kobulov (najnižja odbojnost) in obema pritličnima listoma, ter med nerazvitimi pritličnimi listi (nižja odbojnost) in podpornimi listi cvetočih kobulov.

4.3.2 Presevnost lista



Slika 21: Spektri presevnosti različnih tipov listov pri tevju. NPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., VPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v., NPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v., VPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., NPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., VPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., NSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., VSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., NSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., VSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; krivulje prikazujejo povprečje 10 vzorcev.

Presevni spektri vseh listov pri tevju imajo presevnost med 280 in 370 nm skoraj enako nič, v območju vijoličnega in modrega spektra pa je povišana (Slika 21). Presevnost je v vidnem delu spektra najvišja v zelenem in rumenem spektru, pri 550 nm. Relativna presevnost je bistveno večja od relativne odbojnosti v območju zelene svetlobe. Pri okoli 680 nm presevnost pri vseh listih zelo upade (pod 10 %), nato pa spet močno naraste v NIR območju, kjer pa je zelo razpršena. Največja presevnost skozi celoten presevni spekter je pri nižinskih nerazvitih pritličnih listih. Sledi skupina podobnih presevni spektrov višinskih podpornih listov mladih in cvetočih kobulov ter višinskih nerazvitih pritličnih listov, nato zelo podobna spektra nižinskih podpornih listov pri cvetočih in mladih kobulih, še manjšo presevnost pa imajo višinski podporni listi pri plodečih kobulih. Višinski in nižinski razviti pritlični listi imajo manjšo, a podobno presevnost. Najmanjša je presevnost pri nižinskih podpornih listih plodečih kobulov.

V UV-B spektru se vsi nižinski podporni listi med seboj statistično značilno razlikujejo v presevnosti. Najnižja je pri plodečih kobulih in najvišja pri cvetočih kobulih. Statistično značilna razlika je tudi med nižinskimi in višinskimi podpornimi listi cvetočih kobulov. Slednji imajo nižjo presevnost. Statistično se razlikujeta tudi oba tipa pritličnih listov v nižini, kjer ima razviti pritlični list večjo presevnost. Statistična razlika je tudi med

razvitimi pritličnimi listi glede na nadmorsko višino. Nižinski ima večjo presevnost. V nižini ima pri primerjavi pritlični / podporni listi razviti pritlični list statistično značilno višjo presevnost kot podporni listi pri mladih in plodečih kobulih, nerazvit pritlični list pa nižjo presevnost od podpornega lista cvetočega kobula in večjo presevnost od podpornih listov plodečega kobula. Na višji nadmorski višini ima pri primerjavi pritlični / podporni listi nerazviti pritlični list statistično značilno višjo presevnost od podpornih listov cvetočih kobulov.

V UV-A spektru je imel nižinski nerazviti pritlični list najvišjo presevnost, nižinski podporni listi plodečih kobulov pa najnižjo. Nižinski podporni listi plodečih kobulov so imeli statistično značilno nižjo presevnost od ostalih dveh tipov podpornih listov v nižini. Tudi na višji nadmorski višini so imeli podporni listi plodečih kobulov najnižjo presevnost v primerjavi z ostalimi podpornimi listi, toda razlika je bila statistično značilna le v primerjavi z podpornimi listi mladih kobulov. V nižini ima pri primerjavi pritlični / podporni listi nerazvit pritlični list statistično značilno večjo presevnost od podpornih listov plodečega kobula. Na višji nadmorski višini ima pri primerjavi pritlični / podporni listi nerazviti pritlični list statistično značilno višjo presevnost od podpornih listov plodečih kobulov.

V vijoličnem delu presevnega spektra so si listi med seboj precej podobni. Tudi v tem delu presevnega spektra je imel nižinski nerazviti pritlični list najvišjo presevnost, nižinski podporni listi plodečega kobula pa najnižjo. V nižini so se podporni listi plodečih kobulov statistično razlikovali le od podpornih listov cvetočih kobulov. V nižini ima pri primerjavi pritlični / podporni listi nerazvit pritlični list statistično značilno večjo presevnost od podpornih listov mladega in plodečega kobula, razviti pritlični pa večjo presevnost od podpornega lista plodečega kobula. Na višji nadmorski višini ima pri primerjavi pritlični / podporni listi nerazviti pritlični list statistično značilno višjo presevnost od podpornih listov plodečih kobulov.

V modrem delu spektra je prav tako kot vijoličnem spektru imel nižinski nerazviti pritlični list najvišjo presevnost, nižinski podporni listi plodečega kobula pa najnižjo presevnost. V nižini ima pri primerjavi pritlični / podporni listi nerazvit pritlični list statistično značilno večjo presevnost od podpornih listov mladega in plodečega kobula.

V zelenem delu presevnega spektra je prav tako kot modrem spektru imel nižinski nerazviti pritlični list najvišjo presevnost, nižinski podporni list plodečega kobula pa najnižjo. Pri pritličnih listih v nižini je razlika statistično značilna med nerazvitimi in razvitimi (slednji ima nižjo presevnost). V nižini ima pri primerjavi pritlični / podporni listi nerazvit pritlični list statistično značilno večjo presevnost od podpornih listov mladega in plodečega kobula. Na višji nadmorski višini pri primerjavi pritlični / podporni listi ima razviti pritlični list statistično značilno nižjo presevnost od podpornih listov mladih kobulov.

V rumenem delu presevnega spektra je prav tako kot modrem spektru imel nižinski nerazviti pritlični list najvišjo presevnost, nižinski podporni list plodečega kobula pa najnižjo. V nižini ima pri primerjavi pritlični / podporni listi nerazvit pritlični list statistično značilno večjo presevnost od podpornih listov cvetočega in plodečega kobula.

Na višji nadmorski višini pri primerjavi pritlični / podporni listi ima razviti pritlični list statistično značilno nižjo presevnost od podpornih listov mladih kobulov.

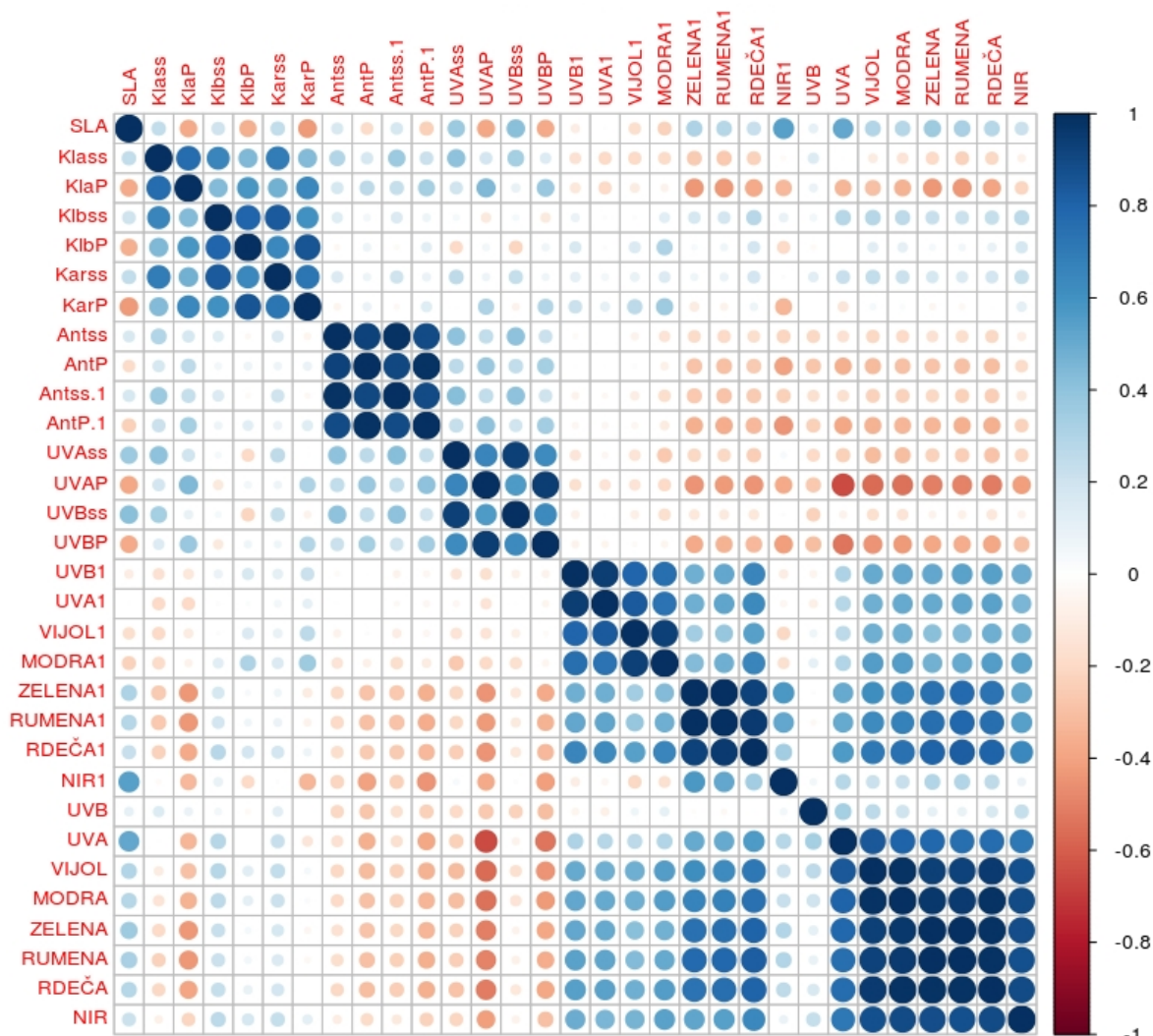
V rdečem delu presevnega spektra je prav tako kot modrem spektru imel nižinski nerazviti pritlični list najvišjo presevnost, nižinski podporni list plodečega kobula pa najnižjo. V nižini ima pri primerjavi pritlični / podporni listi nerazvit pritlični list statistično značilno večjo presevnost od vseh podpornih listov.

V NIR delu presevnega spektra je prav tako kot modrem spektru imel nižinski nerazviti pritlični list najvišjo presevnost, nižinski podporni list plodečega kobula pa najnižjo. Na višji nadmorski višini ima podporni list plodečega kobula statistično značilno nižjo presevnost kot pri mladem kobulu. Razlika je tudi med nadmorskimi višinami, a le pri podpornih listih mladih kobulov (na nižji nadmorski nižja presevnost). Pri pritličnih listih v nižini in na višjih nadmorskih višinah so imeli razviti listi statistično značilno nižjo presevnost od nerazvitih. V nižini ima pri primerjavi pritlični / podporni listi nerazvit pritlični list statistično značilno večjo presevnost od vseh podpornih listov. Na višji nadmorski višini pri primerjavi pritlični / podporni listi ima nerazvit pritlični list statistično značilno višjo presevnost od podpornih listov cvetočih in plodečih kobulov, razviti pritlični pa statistično značilno nižjo presevnost od podpornih listov mladih kobulov.

4.4 VPLIV MORFOLOŠKIH IN BIOKEMIJSKIH PARAMETROV NA ODBOJNOST IN PRESEVNOST LISTOV

4.4.1 Korelacije med biokemijskimi ter morfološkimi parametri in odbojnimi ter presevnimi spektri listov

Pri predstavitvi korelacij omenjamo le statistično značilne korelacije spektrov odbojnosti/presevnosti izključno z vsebnostjo barvil podanimi na površino, ki so izhodišče za razlago variabilnosti optičnih lastnosti listov. Pri antocianih smo upoštevali le vsebnosti pri 530 nm.



Slika 22: Grafični prikaz korelacije, izražene s Spearmanovim korelacijskim koeficientom med odbojnostjo/presevnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkimi lastnostmi pri pritličnih in podpornih listih tevja.

Preglednica 3: Vrednosti Spearmanovega korelacijskega koeficienta, ki prikazujejo stopnjo korelacije med odbojnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkim lastnostmi pri pritličnih in podpornih listih tevja; $p \leq 0,05$ (rumeno); $p \leq 0,01$ (oranžno), $N=100$ ($\alpha=0,05$, $r_s=0,1967$; $\alpha=0,01$, $r_s=0,2571$)

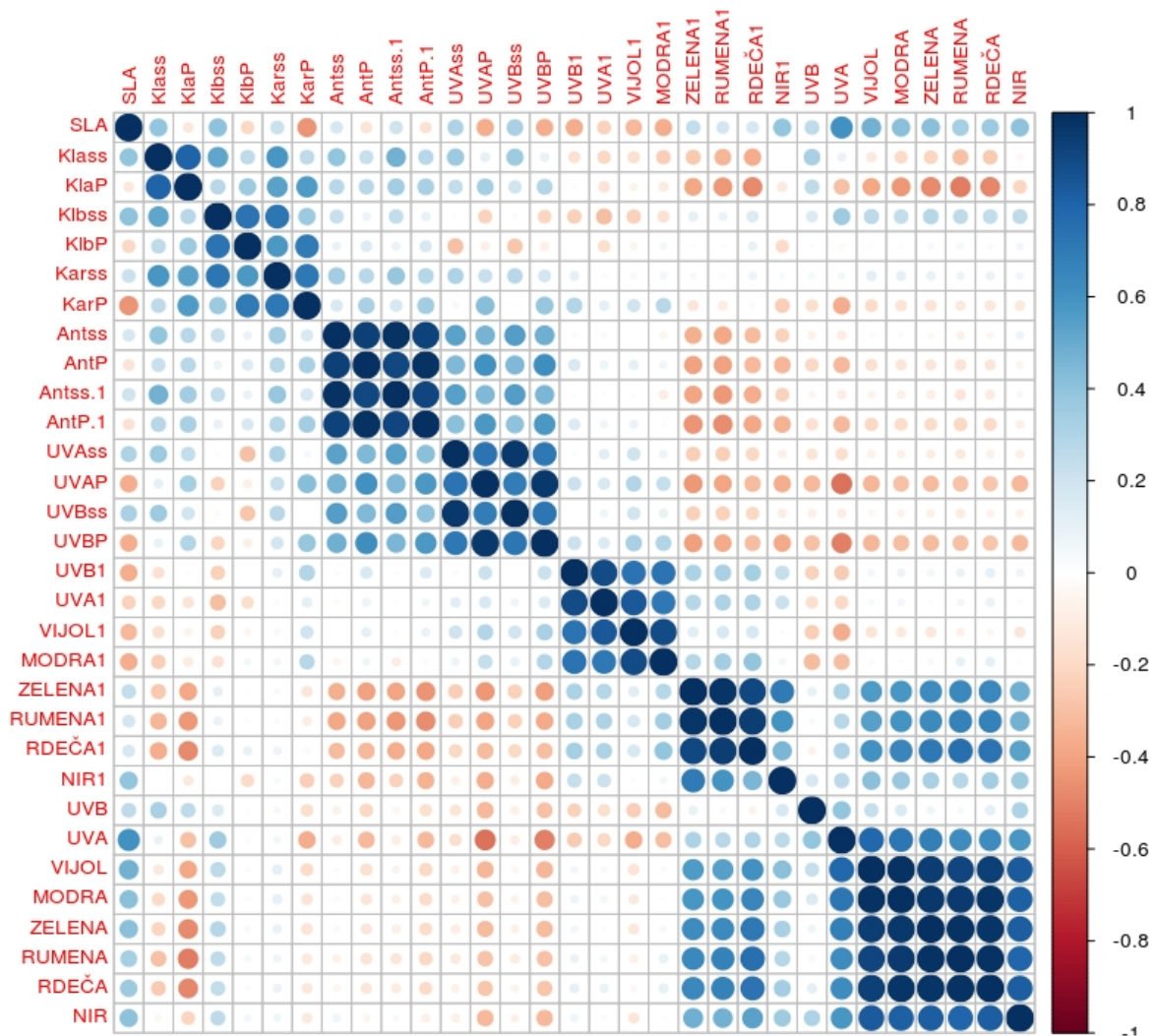
| | UV-B | UV-A | Vijolična | Modra | Zelena | Rumena | Rdeča | NIR |
|-----------------------|-------|-------|-----------|-------|--------|--------|-------|-------|
| SLA | -0,09 | -0,01 | -0,17 | -0,23 | 0,31 | 0,28 | 0,23 | 0,54 |
| Klass | -0,16 | -0,20 | -0,20 | -0,19 | -0,26 | -0,27 | -0,23 | -0,02 |
| KlaP | -0,13 | -0,20 | -0,10 | -0,07 | -0,43 | -0,43 | -0,38 | -0,32 |
| Klbss | 0,09 | -0,01 | 0,02 | 0,13 | 0,17 | 0,18 | 0,27 | 0,10 |
| KlbP | 0,17 | 0,02 | 0,16 | 0,30 | 0,04 | 0,06 | 0,18 | -0,20 |
| Karss | 0,12 | 0,06 | 0,10 | 0,15 | 0,07 | 0,08 | 0,19 | 0,01 |
| KarP | 0,21 | 0,11 | 0,27 | 0,35 | -0,11 | -0,07 | 0,07 | -0,34 |
| Ant ₅₁₀ SS | -0,03 | 0,00 | -0,07 | -0,14 | -0,19 | -0,20 | -0,18 | -0,22 |
| Ant ₅₁₀ P | -0,01 | 0,00 | -0,02 | -0,08 | -0,29 | -0,29 | -0,26 | -0,41 |
| Ant ₅₃₀ SS | -0,06 | -0,03 | -0,09 | -0,18 | -0,27 | -0,28 | -0,25 | -0,23 |
| Ant ₅₃₀ P | -0,05 | -0,05 | -0,05 | -0,10 | -0,36 | -0,37 | -0,32 | -0,44 |
| UVAss | -0,14 | -0,04 | -0,15 | -0,26 | -0,21 | -0,20 | -0,24 | 0,04 |
| UVAP | -0,16 | -0,14 | -0,14 | -0,19 | -0,44 | -0,42 | -0,44 | -0,37 |
| UVBss | -0,08 | 0,01 | -0,08 | -0,17 | -0,12 | -0,11 | -0,12 | 0,01 |
| UVBP | -0,07 | -0,05 | -0,02 | -0,05 | -0,38 | -0,35 | -0,33 | -0,42 |

Z UV-B spektrom odbojnosti pozitivno korelira vsebnost karotenoidov, UV-A spektrom odbojnosti pa negativno korelira klorofil *a* (Preglednica 3). Vijolični del spektra odbojnosti je v pozitivni korelaciji s karotenoidi. V modrem spektru odbojnosti je prisotna pozitivna korelacija s klorofilom *b* in karotenoidi, ter negativna korelacija s specifično listno površino. Vsebnost klorofila *a*, antocianov, UV-A in UV-B absorbirajočih snovi je v negativni korelaciji z zelenim, rumenim, rdečim in NIR delom odbojnega spektra, s temi deli spektra pa je v pozitivni korelaciji specifična listna površina. V NIR delu odbojnega spektra je negativna korelacija tudi s karotenoidi.

Preglednica 4: Vrednosti Spearmanovega korelacijskega koeficienta, ki prikazujejo stopnjo korelacije med presevnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkimi lastnostmi pri pritličnih in podpornih listih tevja; $p \leq 0,05$ (rumeno); $p \leq 0,01$ (oranžno), $N=100$ ($\alpha=0,05$, $r_s=0,1967$; $\alpha=0,01$, $r_s=0,2571$)

| | UV-B | UV-A | Vijolična | Modra | Zelena | Rumena | Rdeča | NIR |
|-----------------------|-------|-------|-----------|-------|--------|--------|-------|-------|
| SLA | 0,10 | 0,52 | 0,29 | 0,28 | 0,36 | 0,32 | 0,29 | 0,22 |
| Klass | 0,14 | 0,01 | -0,10 | -0,15 | -0,20 | -0,22 | -0,20 | -0,07 |
| KlaP | 0,08 | -0,33 | -0,30 | -0,34 | -0,43 | -0,44 | -0,39 | -0,21 |
| Klbss | 0,06 | 0,29 | 0,29 | 0,27 | 0,22 | 0,22 | 0,24 | 0,26 |
| KlbP | -0,03 | 0,00 | 0,13 | 0,12 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,17 |
| Karss | 0,12 | 0,22 | 0,25 | 0,22 | 0,17 | 0,16 | 0,19 | 0,24 |
| KarP | 0,00 | -0,13 | 0,05 | 0,03 | -0,05 | -0,04 | 0,01 | 0,12 |
| Ant ₅₁₀ SS | -0,20 | -0,16 | -0,21 | -0,19 | -0,16 | -0,18 | -0,20 | -0,09 |
| Ant ₅₁₀ P | -0,27 | -0,35 | -0,31 | -0,29 | -0,28 | -0,29 | -0,30 | -0,19 |
| Ant ₅₃₀ SS | -0,16 | -0,16 | -0,23 | -0,23 | -0,20 | -0,23 | -0,25 | -0,11 |
| Ant ₅₃₀ P | -0,23 | -0,39 | -0,35 | -0,34 | -0,34 | -0,35 | -0,36 | -0,22 |
| UVAss | -0,19 | -0,24 | -0,31 | -0,30 | -0,23 | -0,24 | -0,28 | -0,21 |
| UVAP | -0,27 | -0,65 | -0,56 | -0,54 | -0,51 | -0,49 | -0,51 | -0,41 |
| UVBss | -0,22 | -0,07 | -0,16 | -0,15 | -0,06 | -0,08 | -0,13 | -0,07 |
| UVBP | -0,30 | -0,53 | -0,44 | -0,42 | -0,38 | -0,36 | -0,39 | -0,29 |

Specifična listna površina pozitivno korelira z UV-A, NIR in vidnim presevnim delom spektra (Preglednica 4). Klorofil *a* je v negativni korelaciji z UV-A, NIR in vidnim presevnim delom spektra. UV-A in UV-B absorbirajoče snovi ter antociani so v negativni korelaciji z vsemi presevnimi deli spektrov.



Slika 23: Grafični prikaz korelacije, izražene s Spearmanovim korelacijskim koeficientom med odbojnostjo/prepustnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkimi lastnostmi izključno pri podpornih listih tevja.

Preglednica 5: Vrednosti Spearmanovega korelacijskega koeficienta, ki prikazujejo stopnjo korelacije med odbojnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkim lastnostmi pri podpornih listih tevja; $p \leq 0,05$ (rumeno); $p \leq 0,01$ (oranžno), $N=60$ ($\alpha=0,05$, $r_s=0,2545$; $\alpha=0,01$, $r_s=0,3314$)

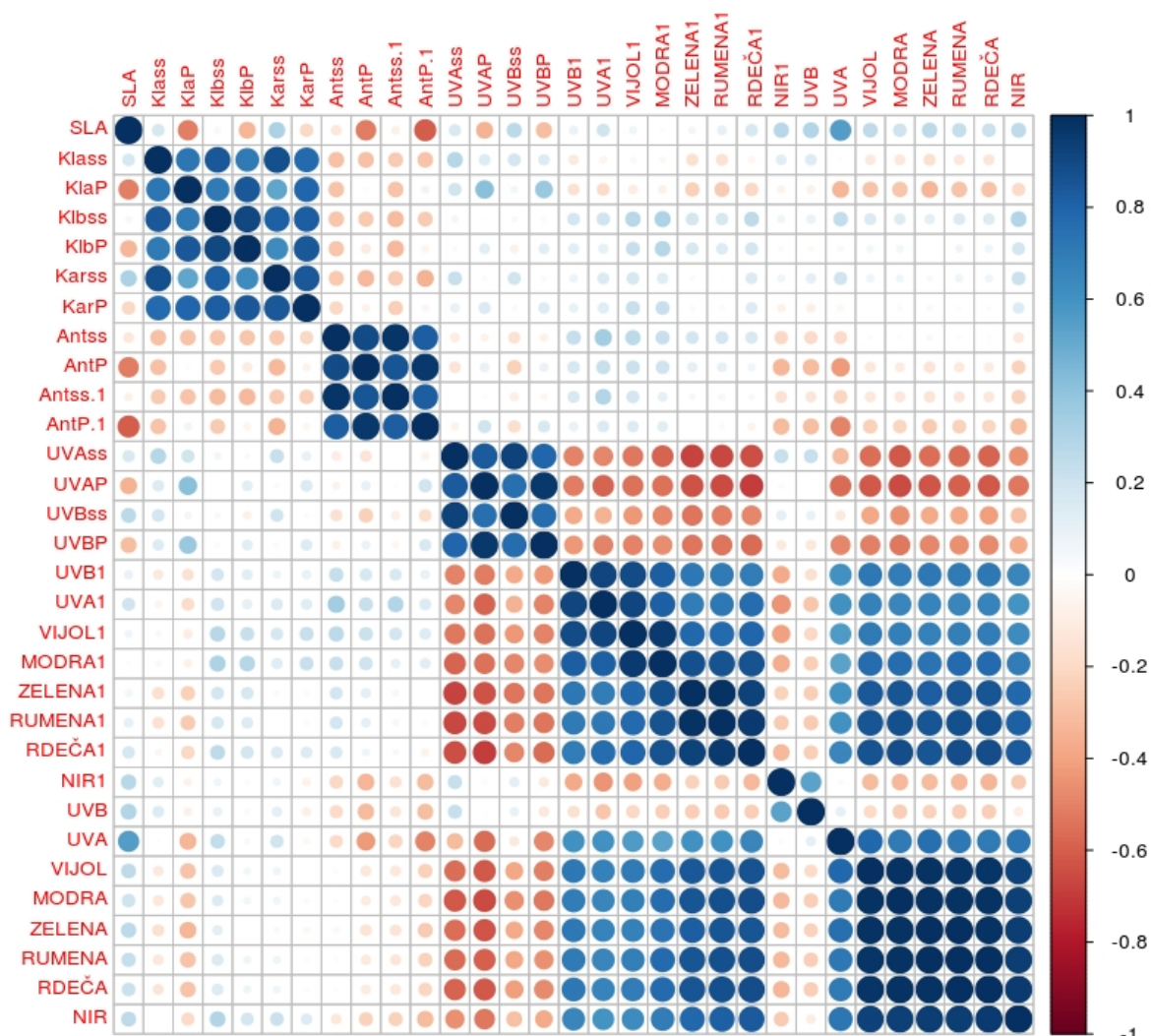
| | UV-B | UV-A | Vijolična | Modra | Zelena | Rumena | Rdeča | NIR |
|----------------------|-------|-------|-----------|-------|--------|--------|-------|-------|
| SLA | -0,36 | -0,22 | -0,32 | -0,36 | 0,24 | 0,18 | 0,18 | 0,39 |
| Klass | -0,16 | -0,21 | -0,17 | -0,24 | -0,27 | -0,33 | -0,36 | 0,00 |
| KlaP | -0,02 | -0,15 | -0,07 | -0,11 | -0,39 | -0,44 | -0,47 | -0,12 |
| Klbss | -0,24 | -0,30 | -0,24 | -0,16 | 0,11 | 0,09 | 0,16 | 0,00 |
| KlbP | 0,00 | -0,17 | -0,05 | 0,05 | 0,01 | 0,02 | 0,09 | -0,20 |
| Karss | 0,11 | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,04 | 0,02 | 0,08 | 0,03 |
| KarP | 0,30 | 0,11 | 0,19 | 0,27 | -0,13 | -0,10 | -0,03 | -0,25 |
| Ant _{510SS} | 0,02 | -0,02 | 0,00 | -0,06 | -0,35 | -0,39 | -0,31 | -0,23 |
| Ant _{510P} | 0,17 | 0,08 | 0,11 | 0,06 | -0,40 | -0,41 | -0,33 | -0,33 |
| Ant _{530SS} | 0,02 | -0,01 | -0,01 | -0,09 | -0,39 | -0,44 | -0,37 | -0,22 |
| Ant _{530P} | 0,15 | 0,06 | 0,08 | 0,02 | -0,44 | -0,46 | -0,39 | -0,35 |
| UVAss | 0,03 | 0,12 | 0,20 | 0,07 | -0,25 | -0,24 | -0,21 | -0,08 |
| UVAP | 0,22 | 0,17 | 0,29 | 0,24 | -0,44 | -0,39 | -0,32 | -0,36 |
| UVBss | -0,01 | 0,07 | 0,20 | 0,10 | -0,24 | -0,24 | -0,20 | -0,09 |
| UVBP | 0,22 | 0,16 | 0,32 | 0,29 | -0,41 | -0,37 | -0,30 | -0,37 |

Pri podpornih listih tevja z UV-B spektrom odbojnosti pozitivno korelira vsebnost karotenoidov, negativno pa specifična listna površina (Slika 23, Preglednica 5). Vijolični del spektra odbojnosti je v negativni korelaciji s specifično listno površino in v pozitivni korelaciji z UV-A in UV-B absorbirajočimi snovmi. V modrem spektru odbojnosti je prisotna pozitivna korelacija s karotenoidi in UV-B absorbirajočimi snovmi in negativna s specifično listno površino. Vsebnosti klorofila *a*, antocianov, UV-A ter UV-B absorbirajočih snovi so v negativni korelaciji z zelenim, rumenim in rdečim delom odbojnega spektra. V NIR delu odbojnega spektra je pozitivna korelacija s specifično listno površino in negativna korelacija z antociani, UV-A in UV-B absorbirajočimi snovmi.

Preglednica 6: Vrednosti Spearmanovega korelacijskega koeficienta, ki prikazujejo stopnjo korelacije med presevnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkim lastnostmi pri podpornih listih tevja; $p \leq 0,05$ (rumeno); $p \leq 0,01$ (oranžno), $N=60$ ($\alpha=0,05$, $r_s=0,2545$; $\alpha=0,01$, $r_s=0,3314$)

| | UV-B | UV-A | Vijolična | Modra | Zelena | Rumena | Rdeča | NIR |
|-----------------------|-------|-------|-----------|-------|--------|--------|-------|-------|
| SLA | 0,25 | 0,61 | 0,47 | 0,41 | 0,41 | 0,33 | 0,36 | 0,40 |
| Klass | 0,33 | 0,08 | -0,12 | -0,19 | -0,22 | -0,29 | -0,25 | -0,05 |
| KlaP | 0,26 | -0,30 | -0,38 | -0,44 | -0,48 | -0,52 | -0,48 | -0,22 |
| Klbss | 0,15 | 0,36 | 0,27 | 0,24 | 0,29 | 0,26 | 0,25 | 0,26 |
| KlbP | -0,01 | -0,02 | -0,02 | -0,02 | 0,04 | 0,05 | 0,02 | 0,05 |
| Karss | 0,04 | 0,05 | 0,11 | 0,11 | 0,09 | 0,07 | 0,08 | 0,06 |
| KarP | -0,18 | -0,36 | -0,18 | -0,15 | -0,15 | -0,12 | -0,13 | -0,12 |
| Ant ₅₁₀ SS | -0,08 | -0,10 | -0,02 | -0,03 | -0,03 | -0,08 | -0,05 | 0,07 |
| Ant ₅₁₀ P | -0,21 | -0,32 | -0,17 | -0,14 | -0,13 | -0,15 | -0,13 | -0,05 |
| Ant ₅₃₀ SS | -0,05 | -0,10 | -0,06 | -0,08 | -0,09 | -0,14 | -0,11 | 0,04 |
| Ant ₅₃₀ P | -0,17 | -0,33 | -0,20 | -0,19 | -0,19 | -0,21 | -0,19 | -0,08 |
| UVAss | -0,14 | -0,17 | -0,07 | -0,08 | -0,09 | -0,12 | -0,08 | -0,08 |
| UVAP | -0,33 | -0,54 | -0,33 | -0,30 | -0,31 | -0,28 | -0,27 | -0,33 |
| UVBss | -0,08 | -0,09 | -0,05 | -0,06 | -0,08 | -0,10 | -0,06 | -0,07 |
| UVBP | -0,29 | -0,50 | -0,34 | -0,31 | -0,32 | -0,29 | -0,28 | -0,32 |

UV-A in UV-B absorbirajoče snovi negativno korelirajo z vsemi presevnimi spektri (Preglednica 6). Specifična listna površina pozitivno korelira z vsemi spektri, razen UV-B. Klorofil *a* je v pozitivni korelaciji z UV-B delom presevnega spektra, z UV-A in vidnim delom pa je v negativni korelaciji. Karotenoidi in antociani negativno korelirajo z UV-A delom spektra.



Slika 24: Grafični prikaz korelacije, izražene s Spearmanovim korelacijskim koeficientom med odbojnostjo/prepustnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološki lastnostmi izključno pri pritličnih listih tevja.

Preglednica 7: Vrednosti Spearmanovega korelacijskega koeficienta, ki prikazujejo stopnjo korelacije med odbojnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkim lastnostmi pri pritličnih listih tevja; $p \leq 0,05$ (rumeno); $p \leq 0,01$ (oranžno), $N=40$ ($\alpha=0,05$, $r_s=0,3128$; $\alpha=0,01$, $r_s=0,4051$)

| | UV-B | UV-A | Vijolična | Modra | Zelena | Rumena | Rdeča | NIR |
|-----------------------|-------|-------|-----------|-------|--------|--------|-------|-------|
| SLA | 0,09 | 0,19 | 0,06 | -0,01 | 0,06 | 0,10 | 0,18 | 0,27 |
| Klass | -0,11 | -0,05 | -0,03 | -0,04 | -0,16 | -0,16 | -0,05 | 0,13 |
| KlaP | -0,15 | -0,18 | -0,10 | -0,08 | -0,24 | -0,26 | -0,21 | -0,07 |
| Klbss | 0,18 | 0,20 | 0,27 | 0,30 | 0,19 | 0,17 | 0,26 | 0,06 |
| KlbP | 0,13 | 0,11 | 0,22 | 0,28 | 0,17 | 0,15 | 0,19 | 0,03 |
| Karss | 0,07 | 0,15 | 0,18 | 0,14 | -0,03 | -0,01 | 0,15 | 0,07 |
| KarP | 0,09 | 0,14 | 0,23 | 0,22 | 0,03 | 0,03 | 0,15 | -0,07 |
| Ant ₅₁₀ SS | 0,24 | 0,35 | 0,27 | 0,22 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | -0,20 |
| Ant ₅₁₀ P | 0,17 | 0,23 | 0,22 | 0,21 | 0,11 | 0,10 | 0,06 | -0,34 |
| Ant ₅₃₀ SS | 0,16 | 0,29 | 0,18 | 0,10 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | -0,15 |
| Ant ₅₃₀ P | 0,10 | 0,15 | 0,15 | 0,12 | -0,01 | -0,03 | -0,06 | -0,32 |
| UVAss | -0,49 | -0,48 | -0,53 | -0,59 | -0,67 | -0,66 | -0,65 | 0,23 |
| UVAP | -0,52 | -0,58 | -0,55 | -0,54 | -0,64 | -0,65 | -0,69 | 0,03 |
| UVBss | -0,38 | -0,35 | -0,43 | -0,48 | -0,53 | -0,51 | -0,49 | 0,11 |
| UVBP | -0,44 | -0,49 | -0,50 | -0,47 | -0,53 | -0,53 | -0,57 | -0,11 |

Pri pritličnih listih so UV-A ter UV-B absorbirajoče snovi v negativni korelaciji z vsemi odbojnimi spektri, razen NIR (Preglednica 7). V NIR spektru je prisotna le negativna korelacija z antociani.

Preglednica 8: Vrednosti Spearmanovega korelacijskega koeficienta, ki prikazujejo stopnjo korelacije med presevnostjo v določenih spektralnih pasovih in biokemijskimi/morfološkim lastnostmi pri pritličnih listih tevja; $p \leq 0,05$ (rumeno); $p \leq 0,01$ (oranžno), $N=40$ ($\alpha=0,05$, $r_s=0,3128$; $\alpha=0,01$, $r_s=0,4051$)

| | UV-B | UV-A | Vijolična | Modra | Zelena | Rumena | Rdeča | NIR |
|-----------------------|-------|-------|-----------|-------|--------|--------|-------|-------|
| SLA | 0,29 | 0,56 | 0,25 | 0,21 | 0,27 | 0,23 | 0,21 | 0,26 |
| Klass | 0,15 | 0,01 | -0,12 | -0,13 | -0,16 | -0,12 | -0,13 | 0,00 |
| KlaP | -0,07 | -0,34 | -0,28 | -0,28 | -0,33 | -0,29 | -0,28 | -0,20 |
| Klbss | 0,09 | 0,24 | 0,16 | 0,14 | 0,11 | 0,15 | 0,15 | 0,29 |
| KlbP | -0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,01 | 0,06 | 0,06 | 0,18 |
| Karss | 0,11 | 0,20 | 0,07 | 0,06 | 0,03 | 0,07 | 0,06 | 0,21 |
| KarP | -0,09 | -0,04 | 0,01 | 0,03 | -0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,14 |
| Ant ₅₁₀ SS | -0,20 | -0,19 | -0,02 | -0,01 | -0,04 | -0,02 | -0,02 | -0,12 |
| Ant ₅₁₀ P | -0,32 | -0,42 | -0,13 | -0,10 | -0,15 | -0,11 | -0,11 | -0,22 |
| Ant ₅₃₀ SS | -0,13 | -0,22 | -0,13 | -0,13 | -0,14 | -0,13 | -0,13 | -0,23 |
| Ant ₅₃₀ P | -0,30 | -0,49 | -0,24 | -0,21 | -0,26 | -0,23 | -0,21 | -0,32 |
| UVAss | 0,23 | -0,31 | -0,56 | -0,62 | -0,56 | -0,56 | -0,58 | -0,45 |
| UVAP | -0,01 | -0,57 | -0,62 | -0,65 | -0,62 | -0,60 | -0,61 | -0,53 |
| UVBss | 0,09 | -0,11 | -0,39 | -0,46 | -0,37 | -0,38 | -0,41 | -0,29 |
| UVBP | -0,12 | -0,49 | -0,50 | -0,53 | -0,48 | -0,45 | -0,47 | -0,38 |

Pri pritličnih listih UV-A ter UV-B absorbirajoče snovi negativno korelirajo z vsemi presevnimi spektri, razen UV-B spektrom (Preglednica 8). Poleg omenjenih z UV-A spektrom negativno korelirajo klorofil *a* ter antociani, pozitivno pa specifična listna površina. Klorofil *a* tudi negativno korelira z zelenim delom presevnega spektra. Antociani negativno korelirajo z NIR presevnim spektrom.

4.4.2 Klasterska analiza

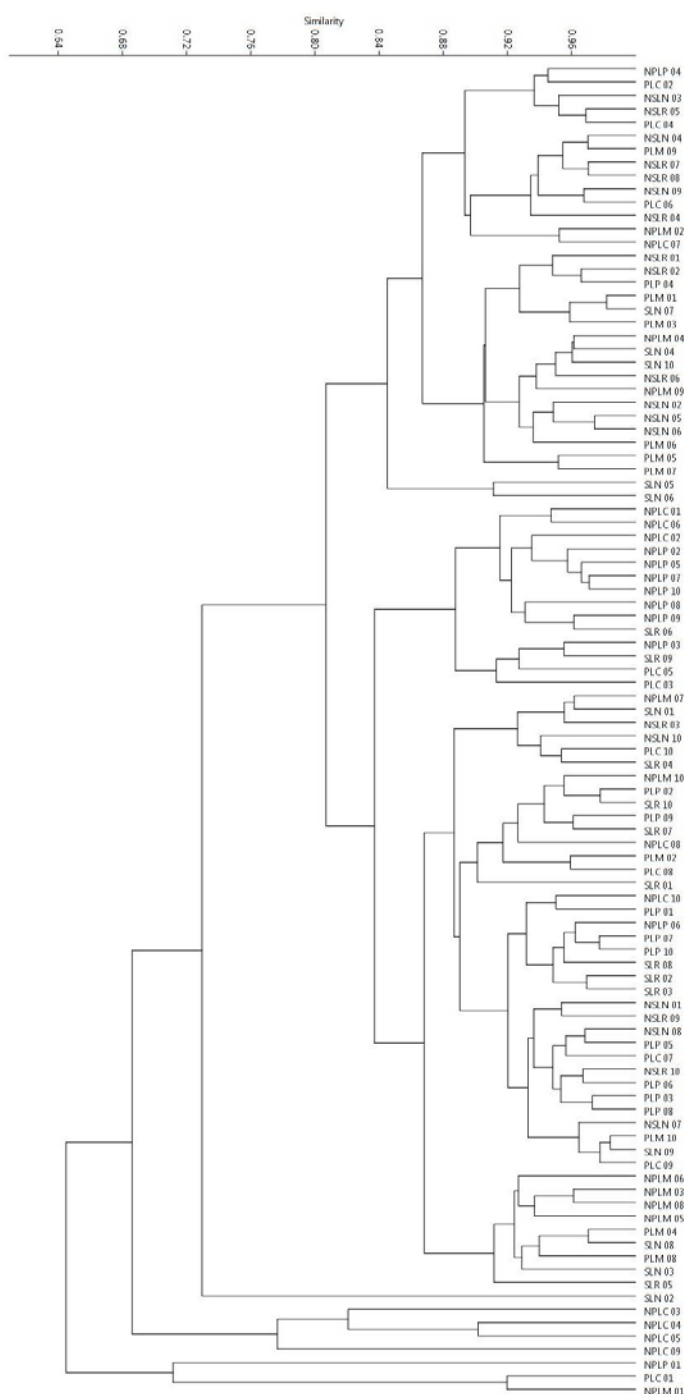
Na podlagi meritev smo izdelali štiri dendrograme podobnosti, ki prikazujejo podobnost v optičnih in biokemijskih lastnostih različnih tipov listja pri tevju z različnih nadmorskih višin.

Na dendrogramu podobnosti v vseh izmerjenih parametrih (Slika 25) se vzorci posameznih tipov listov pojavljajo zelo razpršeno. Nekateri vzorci nižinskih podpornih listov pri cvetočem kobulu se zelo razlikujejo od ostalih vzorcev, preostali vzorci tega tipa lista pa so najbolj podobni nižinskim podpornim listom plodečega kobula.

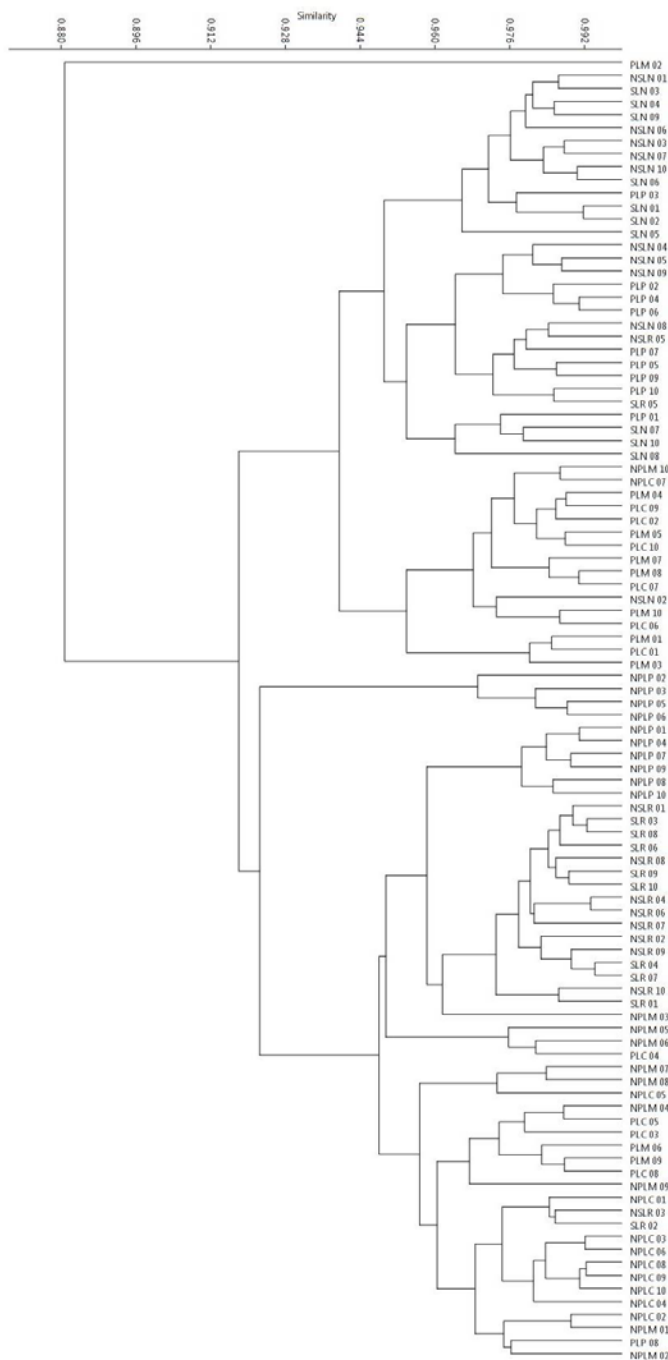
Na dendrogramu podobnosti v odbojnih spektrih (Slika 26) lahko opazimo, da so si v odbojnosti vsi listi med seboj zelo podobni, saj je delež podobnosti nad 91 %. Izstopa le en vzorec podpornih listov mladega kobula z višjih nadmorskih višin (PLM2), ki kaže 88 % podobnosti z ostalimi listi. Največjo podobnost v odbojnosti opazimo med nerazvitimi pritličnimi listi na višji nadmorski višini, nerazvitimi pritličnimi listi na nižji nadmorski višini ter med podpornimi listih plodečih kobulov na višji nadmorski višini. Podobnost v odbojnosti je očitna tudi med razvitimi pritličnimi listi na različnih nadmorskih višinah.

Na dendrogramu podobnosti v presevnih spektrih (Slika 27) se vzorci posameznih tipov listov pojavljajo zelo razpršeno in se bolj razlikujejo kot pri odbojnih spektrih. Vseeno je nakazano grupiranje nerazvitih pritličnih listov (nižinskih in višinskih) ter podpornih listov mladih in cvetočih kobulov. Drugo skupino sestavljajo podporni listi plodečih kobulov (nižinski in višinski) ter razvitih pritličnih listov. Na splošno izstopajo vzorci nižinskih nerazvitih pritličnih listov in nižinskih podpornih listov pri plodečem kobulu, ki se med seboj zelo razlikujejo.

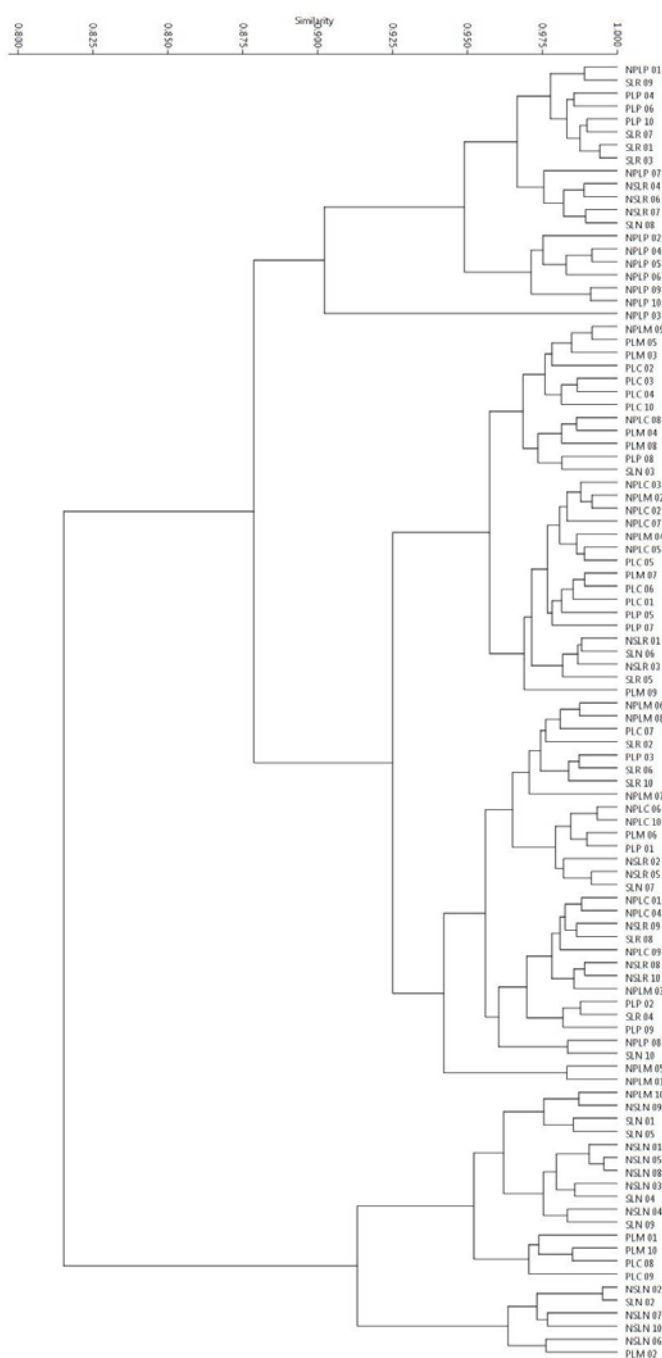
Na dendrogramu podobnosti v vsebnosti UV – absorbirajočih snovi (Slika 28) se vzorci posameznih tipov listov pojavljajo zelo razpršeno in so si precej različni med seboj. Izstopa le en vzorec nižinskih podpornih listov pri cvetočem kobulu (NLPC 3).



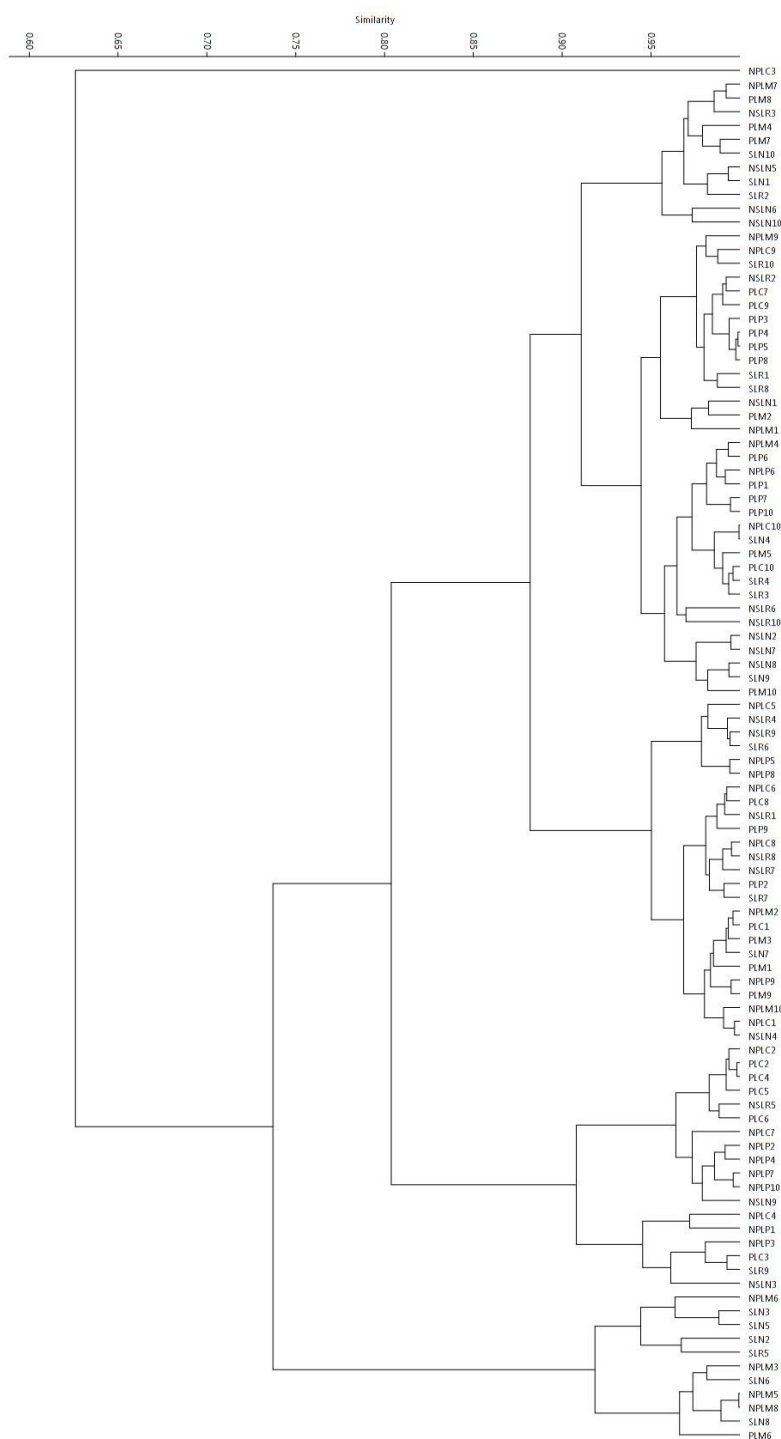
Slika 25: Dendrogram podobnosti odbojnih in presevnih spektrov ter morfoloških in biokemijskih parametrov pri vseh tipih listov pri tevju na različnih nadmorskih višinah; podan s pomočjo klasterne analize z Bray-Curtisovim indeksom podobnosti; NPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., PLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v, NPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. PLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., NPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., PLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., NSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., SLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., NSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., SLR - razviti prit. l. na višji n.v.; vzorci 1-10.



Slika 26: Dendrogram podobnosti odbojnih spektrov pri podpornih in pritličnih listih tevja; podan s pomočjo klastrske analize z Bray-Curtisovim indeksom podobnosti; NPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., PLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v, NPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. PLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., NPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., PLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., NSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., SLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., NSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., SLR - razviti prit. l. na višji n.v.; vzorci 1-10.



Slika 27: Dendrogram podobnosti presevnih spektrov pri podpornih in pritličnih listih tevja; podan s pomočjo klasične analize z Bray-Curtisovim indeksom podobnosti; NPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., PLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v, NPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. PLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., NPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., PLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., NSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., SLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., NSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., SLR - razviti prit. l. na višji n.v.; vzorci 1-10.



Slika 28: Dendrogram podobnosti v vrednosti UV- absorbirajočih snoveh pri podpornih in pritličnih listih tevja; podan s pomočjo klastrske analize z Bray-Curtisovim indeksom podobnosti; NPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., PLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v, NPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. PLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., NPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., PLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., NSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., SLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., NSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., SLR - razviti prit. l. na višji n.v.; vzorci 1-10.

4.4.3 Multivariatna RDA analiza

Redundančna analiza je pokazala, da na odbojne spektre statistično značilno vplivajo štirje merjeni parametri, ki skupaj razložijo 37 % njihove variabilnosti (Preglednica 9). UV-B absorbirajoče snovi na površino razložijo 13 % variabilnosti odbojnih spektrov, UV-A absorbirajoče snovi na površino 11 %, karotenoidi na površino 9 % in klorofil *a* na površino 4 %.

Preglednica 9: Parametri, ki razložijo variabilnost odbojnih spektrov in delež razložene variance

| Parameter | Delež razložene variance (%) | P |
|--------------------------------------|------------------------------|-------|
| UV-B absorbirajoče snovi na površino | 13 | 0,001 |
| UV-A absorbirajoče snovi na površino | 11 | 0,001 |
| Karotenoidi na površino | 9 | 0,001 |
| Klorofil <i>a</i> na površino | 4 | 0,006 |
| Klorofil <i>b</i> na površino | 1 | 0,18 |
| Antociani pri 530 nm na površino | 1 | 0,18 |

Z redundančno analizo smo ugotovili, da na preseвне spektre statistično značilno vpliva šest merjenih parametrov, ki skupaj razložijo 42 % njihove variabilnosti (Preglednica 10). Največ variabilnosti razložijo UV-A absorbirajoče snovi na površino (20 %) in UV-B absorbirajoče snovi na površino (9 %).

Preglednica 10: Parametri, ki razložijo variabilnost presevnih spektrov in delež razložene variance

| Parameter | Delež razložene variance (%) | P |
|--------------------------------------|------------------------------|-------|
| UV-A absorbirajoče snovi na površino | 20 | 0,001 |
| UV-B absorbirajoče snovi na površino | 9 | 0,001 |
| Antociani pri 530 nm na površino | 5 | 0,008 |
| Klorofil <i>b</i> na površino | 3 | 0,014 |
| Specifična listna površina | 3 | 0,017 |
| Klorofil <i>a</i> na površino | 2 | 0,034 |

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Glavni namen diplomske naloge je bil ugotoviti, kakšne so optične in biokemijske lastnosti podpornih listov pri tevju (*Hacquetia epipactis*) v različnem obdobju razvoja kobula (mladi, cvetoči in plodeči) ter kako se te lastnosti razlikujejo od lastnosti različno razvitih pritličnih dlanasto deljenih listov. Lastnosti smo merili pri rastlinah z različnih nadmorskih višin.

V razpravi omenjamo le vsebnosti barvil podane na površino, ki so izhodišče za razlago variabilnosti optičnih lastnosti listov. Pri antocianih smo upoštevali meritve pri 530 nm.

5.1.1 Optične in biokemijske lastnosti podpornih listov v različnem obdobju razvoja kobula

Pričakovali smo, da se bodo podporni listi v optičnih in biokemijskih lastnosti razlikovali od pritličnih listov zaradi domnevno različne vloge. Podporni listi pri tevju opravljajo vlogo venčnih listov, torej vlogo privabljanja oprasovalcev (Bavcon, 2013; Mastnak, 2012). Mastnak (2012) navaja, da rumenkasto zeleni podporni listi le prvih 10 dni privabljajo čebele, v nadaljnjih 14 dnevih pa postanejo zeleni, še kasneje pa temno zeleni. Ne odpadejo, temveč opravljajo vlogo fotosinteze. Spremembo barve podpornih listov iz rumene v zeleno omenjajo tudi Martinčič in sod. (2007), čeprav pri nabiranju vzorcev nismo v nobenem primeru našli rumene podporne liste, kvečjemu rumenozelene. Te razlike bi pričakovali v različno oblikovanih odbojnih spektrih v vidnem in UV delu spektra pri podpornih listih mladih oziroma cvetočih kobulov v primerjavi s podpornimi listi pri plodečih kobulih ter v različni jakosti odboja.

Meritve relativne odbojnosti so pokazale, da so bile oblike odbojnih spektrov pri vseh podpornih listih enake, razlike pa so bile v deležu odbojnosti. Odbojnost je bila v rumenem delu spektra najvišja pri mladih kobulih, nato pri cvetočih in najnižja pri plodečih kobulih na nižjih in višjih nadmorskih višinah. V nižini se mladi in cvetoči kobuli v odbojnosti statistično razlikujejo od plodečih, na višji nadmorski višini pa ni statistično značilnih razlik. Podobne statistično značilne razlike v odbojnosti smo opazili tudi v zelenem, rdečem in NIR delu spektra. V preostalih delih spektra odbojnosti (UV, vijolična, modra) ni bilo statistično značilnih razlik med podpornimi listi, razen v UV-B delu spektra na višji nadmorski višini so se podporni listi mladih kobulov razlikovali od ostalih dveh tipov podpornih listov. Pri podpornih listih mladih kobulov smo opazili, da so ti pogosto bleščeči. Pričakovali bi, da je odbojnost v vidnem spektru višja, kar se tudi sklada z rezultati merjene relativne odbojnosti. Celoten spekter odbojnosti pri podpornih listih tevja je sicer značilen za zelene rastline (Yoshimura in sod., 2010), saj smo opazili nizko odbojnost v UV, vijoličnem, modrem in rdečem delu spektra, nekoliko povečano odbojnostjo v zelenem in rumenem delu spektra ter naglo povečanje v NIR delu spektra. S pomočjo Spearmanovega korelacijskega koeficienta (Slika 23) smo ugotovili, da pri podpornih listih tevja ne glede na nadmorsko višino z zelenim, rumenim, rdečim in NIR delom odbojnega spektra negativno korelirajo vsebnosti UV absorbirajočih snovi, antocianov in klorofila *a*. UV absorbirajoče snovi so skupni topni flavonoidi, ki se

pojavnjajo večinoma v povrhnjici listov (Caldwell, 1968) in absorbirajo pretežno v UV delu spektra, delno pa tudi v vidnem delu. Spremenjena odbojnost je verjetno povezana tudi z razlikami v zgradbi kutikule (Pfundel in sod., 2008), ki pa jih nismo raziskovali.

Vsebnost UV-A in UV-B absorbirajočih snovi je z razvojem kobula naraščala. Razlike med podpornimi listi so bile v nižini statistično značilne (podporni listi mladih kobulov so se razlikovali vsaj od podpornih listov plodečih kobulov), na višji nadmorski višini pa ne. Pričakovali bi, da bo višja vsebnost UV-A in UV-B absorbirajočih snovi pri podpornih listih plodečega kobula prispevala k nižji odbojnosti in presevnosti listov v teh delih spektra, toda ta korelacija je bila statistično značilna le pri presevnih spektrih. UV absorbirajoče snovi ščitijo rastlino pred škodljivimi učinki UV sevanja (Yoshimura in sod., 2010), njihove koncentracije pa so večje pri sončnih kot pa pri senčnih listih (Filella in Peñuelas, 1999). V listih večine kobulnic so našli flavonoida kampferol in kvercetin. Slednji, ki ga uvrščamo v skupino flavonolov, je bil najden tudi v tevju (Crowden in sod., 1969). V listih tevja so našli tudi levkocianidin (Bate-Smith, 1962, cit. po Crowden in sod., 1969). Kvercetin najbolje absorbira valovne dolžine do 400 nm, z absorpcijskimi vrhovi pri 130 nm, 250 nm in 370 nm (Zhao in Zhang, 2016), in verjetno prispeva k manjši odbojnosti in presevnosti v UV-A delu spektra glede na UV-B del spektra. Povečevanje UV-A in UV-B absorbirajočih snovi z razvojem kobula bi lahko pripisali povečanemu UV sevanju, saj so bili podporni listi plodečih kobulov nabrani kasneje v aprilu. Po drugi strani pa so se krošnje že začele olistavati in sloj podrasti se je začel razraščati in senčiti vrste, ki začnejo svoj razvoj zgodaj spomladi, zato predvidevamo, da bi bilo UV sevanje in posledično vsebnost UV absorbirajočih snovi manjša. Namreč na tvorbo UV absorbirajočih snovi vpliva prisotnost UV svetlobe (Taiz in Zeiger, 2010). Lahko pa so spremembe preprosto povezane z normalnim razvojem listov pri tevju. Znano je namreč, da se optične lastnosti lista tekom leta z razvojem listov spreminjajo (Yoshimura in sod., 2010).

Predvidevali smo, da bo vsebnost UV absorbirajočih snovi povezana s privabljanjem opravevalcev. Nekateri opravevalci dobro zaznavajo UV svetlobo, zato lahko opazijo tudi UV obarvanost in vzorce cvetov v tem delu spektra (Gronquist in sod., 2001). Prisotnost UV vzorcev pri tevju ni raziskana, skopa pa je tudi literatura o opravevalcih tevja. Mastnak (2012) omenja čebele kot opravevalce tevja. Zasedili smo podatek, da je eden od opravevalcev čebela vrste *Lasioglossum fulvicorne* (Gogala, 2014), ter čebela iz rodu *Andrena* sp. (Natalija, 2009). Tekom vzorčenja rastlin smo na kobulih opazili predstavnike muh trepetavk *Syrphus* sp. (Diptera: Syrphidae) (Slika 3) in hroščev (Coleoptera, do 3 mm veliki odrasli primerki, ni fotodokumentirano). Čebele zaznavajo UV svetlobo (van der Kooi in sod., 2016), zato bi lahko zaznale tudi morebitno obarvanost podpornih listov tevja v tem delu spektra. Manjšo koncentracijo snovi v podpornih listih smo pričakovali pri mladih rastlinah (večja odbojnost oz. manjša absorpcija v UV delu spektra) in večjo pri cvetočih in plodečih rastlinah. Rezultati to delno potrjujejo. Poleg absorpcije v UV delu spektra verjetno tevje opravevalce privablja z različnimi vzorci razporeditve UV absorbirajočih snovi v podpornih listih, kar je pogost pojav pri cvetnih listih (Björn in Ghiradella, 2015), z obarvanostjo kobula in z razpoložljivostjo nektarja. Stilopodij kobulnic namreč izloča nektar, ki privablja opravevalce kobulnic, kot so muhe, komarji, hrošči, molji, čebele in mravlje (Niemirski in Zych, 2011; Apiaceae, 2016).

Tudi vsebnost antocianov je z razvojem kobula naraščala, vendar pa je bila težnja statistično značilna le za lokacije na nižjih nadmorskih višinah. Tudi antociani imajo en absorpcijski vrh v UV delu spektra, sicer pa najbolj absorbirajo svetlobo med 500-600 nm, ob veliki koncentraciji tudi v območju od 600-650 nm (Merzlyak in sod., 2008). Negativna korelacija antocianov z zelenim, rumenim in rdečim delom spektra razloži odbojne spektre pri podpornih listih. Povečanje vsebnosti antocianov bi lahko bilo povezano s povečanjem UV sevanja (kasnejše nabiranje podpornih listov plodečih kobulov), z drugimi stresni (npr. zaščita pred herbivorijo) ali pa z normalnim razvojem podpornih listov. Podporni listi mladih kobulov z nižine so imeli statistično značilno nižjo vsebnost antocianov od višinskih vzorcev istega tipa lista, medtem ko so imeli podporni listi plodečih kobulov statistično značilno višjo vsebnost antocianov od višinskih vzorcev istega tipa lista. Pričakovali smo, da bo vsebnost antocianov pri vseh tipih podpornih listov višja na višji nadmorski višini zaradi večjega UV sevanja in tudi nižje temperature. Antociani namreč povečujejo strpnost na stres (Gould, 2004).

Celoten spekter presevnosti pri podpornih listih tevja je prav tako značilen za zelene rastline (Yoshimura in sod., 2010). Ugotovili smo, da so bile razlike v presevnih spektrih med podpornimi listi v nižini v UV in vijoličnem delu spektra. Podporni listi plodečih kobulov so se z nižjo presevnostjo statistično razlikovali v UV delu spektra od obeh ostalih dveh tipov listov, v vijoličnem pa le od podpornih listov cvetočih kobulov. Na višji nadmorski višini so bile razlike v UV in NIR delu spektra. Podporni listi plodečih kobulov so imeli statistično značilno nižjo presevnost od podpornih listov mladih kobulov. Omenjene razlike v presevnih spektrih lahko razložimo s statistično značilno nižjo specifično listno površino, večjo vsebnostjo UV absorbirajočih snovi in antocianov pri podpornih listih plodečih kobulov.

5.1.2 Optične in biokemijske lastnosti različno razvitih pritličnih listov

Odbojnost je bila pri razvitih pritličnih listih nižja kot pri nerazvitih listih na vseh nadmorskih višinah in v vseh delih spektra, razen v NIR delu. Statistično značilne razlike so bile na nižjih nadmorskih višinah v UV-B, UV-A spektru ter v rumenem in rdečem, na višji nadmorski pa čez celotni spekter, razen v modrem in NIR delu spektra. S pomočjo Spearmanovega korelacijskega koeficienta smo ugotovili (Preglednica 7), da so vsi deli odbojnega spektra (razen NIR) pri pritličnih listih v statistično značilni negativni korelaciji z UV absorbirajočimi snovmi. Višje vrednosti UV-A in UV-B absorbirajočih snovi pri razvitih pritličnih listih potrjujejo to negativno korelacijo, toda razlike v vrednostih teh snovi proti nerazvitim pritličnim listom niso bile statistično značilne.

Opazili smo, da so bili nerazviti pritlični listi zelo bleščeči. Pričakovali smo višjo odbojnost pri tem tipu lista v vidnem delu spektra, kar rezultati merjene relativne odbojnosti potrjujejo. Dendrogram podobnosti odbojnih spektrov (Slika 26) in primerjava odbojnih spektrov po barvnih pasovih je pokazala, da so si med seboj podobni nerazviti pritlični listi na obeh nadmorskih višinah, prav tako pa tudi razviti pritlični listi na obeh nadmorskih višinah. S tem se sklada tudi vsebnost UV-A in UV-B absorbirajočih snovi, ki se pri istem tipu pritličnih listov na različnih nadmorskih višinah statistično ne razlikuje. Na podlagi pridobljenih rezultatov predvidevamo, da je razlika v odbojnosti pritličnih listov povezana z razvojno stopnjo lista in ne z nadmorsko višino.

Presevnost je bila pri nerazvitih pritličnih listih na obeh nadmorskih višinah in tekom celotnega spektra višja od razvitih pritličnih listov, razen pri UV-B delu spektra v nižini. Več statistično značilnih razlik je bilo pri nižinskih vzorcih. Dendrogram podobnosti presevnih spektrov (Slika 27) prav tako kaže na podobnosti spektrov posameznih tipov lista glede na nadmorsko višino. Tudi na presevne spektre pritličnih listov najbolj vplivajo UV-A in UV-B absorbirajoče snovi, utemeljitev pa je podobna kot pri odbojnih spektrih.

5.1.3 Primerjava optičnih in biokemijskih lastnosti med podpornimi in pritličnimi listi

Med različni tipi podpornih in pritličnih listov obstajajo statistično značilne razlike v vsebnosti posameznih biokemijskih snovi kot tudi v optičnih lastnostih, ki pa jih težko združimo v neko splošno ugotovitev.

Hunt in sod. (2004) rumeno-zeleno barvo podpornih listov pri ostrem mlečku (*Euphorbia esula*) pripisujejo 84 % oz. 82 % manjši vsebnosti klorofila a oz. b, ter 44 % manjši vsebnosti karotenoidov v primerjavi z zelenimi stebelnimi listi. Razmerje med karotenoidi in klorofili je namreč v podpornih listih približno 1:1. V stebelnih listih je to razmerje 1:4. V naši raziskavi razlike v vsebnosti klorofila a in b ter karotenoidov med podpornimi in pritličnimi listi tevja niso bile tako zelo izrazite. Razlika je bila največja v vsebnosti karotenoidov v nižini med podpornimi listi mladih kobulov in razvitimi pritličnimi listi, pri čemer je bilo v razvitih pritličnih listih v povprečju za 50 % več karotenoidov kot v podpornih listih. Razmerje med karotenoidi in klorofili je bilo v naši raziskavi pri razvitih pritličnih listih okoli 1:7 v nižini in 1:6 na višji nadmorski višini, pri podpornih listih mladih kobulov okoli 1:9 v nižini in 1:7 na višji nadmorski višini, in podpornih listih cvetočih kobulov 1:11 v nižini in 1:7 na višji nadmorski višini.

Hunt in sod. (2004) so tudi merili odbojnost podpornih listov ostrega mlečka, ki je bila v območju od 525-650 nm višja od stebelnih listov, med 400 in 510 pa nižja. Slednji pojav pripisujejo večji fluorescenci. Pri tevju smo opazili, da je na nižji nadmorski višini odbojnost podpornih listov plodečih kobulov med 525 – 650 nm celo nižja od razvitih pritličnih listov, ostala dva tipa podpornih listov pa sta imela višjo odbojnost, podobno kot nerazviti pritlični list. To lahko pojasnimo z večjo vsebnostjo klorofila a, antocianov in UV absorbirajočih snovi pri podpornih listih plodečih kobulov. Na višji nadmorski višini je bila odbojnost razvitih pritličnih listov med 520 – 650 nm najnižja, najvišja pa pri podpornih listih mladih kobulov. Med 460 in 510 nm je bila odbojnost najvišja pri nerazvitih pritličnih listih, kar pa težko pojasnimo z biokemijskimi ali morfološkimi parametri. Morda gre v tem primeru za vpliv fluorescence.

Pri primerjavi presevnih spektrov iz dendrograma (Slika 27) smo ugotovili, da se nižinski nerazviti pritlični listi in nižinski podporni listi pri plodečem kobulu med seboj zelo razlikujejo. Po drugi strani so si zelo podobni podporni listi plodečih kobulov in razviti pritlični listi. Predvidevamo, da so si podporni listi plodečih kobulov in razviti pritlični listi podobni zaradi tega, ker gre že za dokončno oblikovane liste, pri katerih je tudi opazna manjša specifična listna površina. To pomeni, da je gostota tkiva pri teh listih večja in zaradi tega je tudi presevnost nižja. Qi in sod. (2003) ter Oh in Kim (2010) so ugotovili, da imajo senčni listi zaradi večje listne ploskve in tanjših listov manjšo fotosintezo

kapaciteto. Potemtakem bi lahko sklepali, da imajo podporni listi plodečih kobulov in razviti pritlični listi višjo fotosintezno kapaciteto. Ta ugotovitev je v skladu z navedbami Mastnaka (2012), da podporni listi v celoti prevzamejo vlogo fotosinteze, ko kobul odcveti.

Pri nerazvitih pritličnih listih in pri podpornih listih mladih kobulov smo opazili, da se bolj bleščijo. Bleščanje podpornih listov bi bilo lahko povezano s privabljanjem oprasovalcev, toda glede na to, da pritlični listi poženejo iz korenike v različnih fazi razvoja kobulov (tudi pred pojavom kobulov), predvidevamo, da ta lastnost ne igra pomembne vloge pri privabljanju oprasovalcev. Predvidevamo, da je bleščanje posledica anatomske zgradbe mladih listov tevja, a le te nismo proučevali. Pri venčnih listih plazeče zlatice (*Ranunculus repens*) so ugotovili, da k bleščavosti prispeva delno transparentna zgornja povrhnjica, ki vsebuje barvila, plast škroba in vmesni zračni prostor (Vignolini in sod., 2012).

5.1.4 Vpliv nadmorske višine na optične in biokemijske lastnosti listov pri tevju

Na višjih nadmorskih višinah smo pričakovali večje vsebnosti UV absorbirajočih snovi in antocianov zaradi povečanega UV sevanja kot pa na nižjih nadmorskih višinah. Antocianov je bilo dejansko statistično značilno več na višjih nadmorskih višinah pri podpornih listih mladih kobulov, medtem ko je bilo antocianov pri podpornih listih plodečih kobulov precej več v nižini. Nerazviti pritlični listi so imeli na nižji nadmorski višini manj antocianov, in imeli višjo specifično listno površino. To bi lahko utemeljili z višjim UV sevanjem in nižjimi temperaturami na višjih nadmorskih višinah.

V vsebnosti UV absorbirajočih snovi nismo ugotovili značilnih razlik med nadmorskimi višinami. Vzrok je morda v tem, da je razlika v nadmorski višini med nižinskima in višinsko lokacijo premajhna, da bi se pokazal vpliv povečanega UV sevanja. Razlika namreč znaša 640-650 m. Kindl in Raab (1993, cit. po Committee on Military Nutrition Research, Institute of Medicine, 1996) navajata, da se na vsakih 1000 m nadmorske višine UV sevanje poveča za 15-20 %, pri čemer se bolj poveča UV-B sevanje. Med 0 in 1000 m n.m. je UV-B sevanje povečano za 20 %, UV-A pa za 10 %. Filella in Peñuelas (1999) poročata, da je bila koncentracija UV-B absorbirajočih snovi pri sončnih listih črnike (*Quercus ilex*) na nadmorski višini 1200 m za 15 % višja kot pa na nadmorski višini 200 m. Pri štirih drevesnih vrstah, rastočih v mehiških gozdovih, ki jih stalno obdaja pas oblakov, niso ugotovili statistično značilnih razlik v odbojnosti in absorbanci v UV-B delu spektra v gradientu od 1500 do 2500 metrov nad morjem (Velazquez-Rosas in sod., 2010).

Vzrok za različne rezultate na nižji in višji nadmorski višini bi lahko iskali v različnih habitatih in mikrohabitatih, v svetlobnih razmerah, klimatskih razmerah (npr. temperatura, ki z nadmorsko višino pada, količina padavin, spremenljive vremenske razmere v gorskem svetu, krajša rastna sezona), dostopnosti hranil in drugih dejavnikih.

Na višji nadmorski višini je bil prisoten večinoma smrekov gozd, ki je v aprilu prepuščal manj svetlobe kot mešani nižinski gozd, toda sama lokacija je bila na južno eksponiranem pobočju ob makadamski cesti. Nabrane rastline so bile torej izpostavljene sončnemu sevanju na gozdem robu ob višjem UV sevanju. Nižinski lokaliteti sta bili v mešanem gozdu, kjer so prisotne posamezne prekinitve v sloju krošenj zaradi sečnje. Lokacija v

Preski pri Medvodah je bila ob potoku v manjšem grabnu, lokacija v Zavrhu pod Šmarno goro pa v ravninskem predelu. Svetlobnih razmer v času rasti in razvoja tevja nismo merili, zato ne moremo iskati neposrednih povezav med svetlobnimi razmerami in rezultati, sklepamo pa, da so bile razmere bolj dinamične v nižini. Verjetno so se razlikovale tudi med obema nižinskima lokacijama. To bi lahko tudi vplivalo na biokemijske in optične lastnosti podpornih listov mladih kobulov. Ne moremo izključiti možnosti, da je združevanje nižinskih vzorcev podpornih listov mladih kobulov prispevalo k večji variabilnosti meritev na nižji nadmorski višini in posledično tudi k statistično značilnim razlikam.

Na rezultate bi lahko vplival tudi čas nabiranja vzorcev. Vsi so bili sicer nabrani v aprilu (Preglednica 1), toda v tem času so se listavci olistali in podrast je bujno odgnala. Svetlobne razmere na začetku meseca in na koncu meseca so se zelo razlikovale. Vzorci niso bili nabrani istočasno. V nižini so bili podporni listi plodečih kobulov nabrani 19 dni kasneje kot ostala dva tipa podpornih listov. V tem času se je UV sevanje povečalo, dan se je podaljšal, in zato bi lahko imeli podporni listi plodečih kobulov višje vsebnosti UV absorbirajočih snovi.

Spremembe v optičnih in biokemijskih lastnostih med listi na nižji nadmorski višini so bile bolj izrazite kot pa na višji nadmorski višini. Na višji nadmorski višini verjetno obstajajo omejujoče razmere, ki vplivajo na biokemijske procese v rastlinah.

S pomočjo RDA analize smo ugotovili, da vsebnost UV absorbirajočih snovi, karotenoidov in klorofila *a* razloži 37 % variabilnosti odbojnih spektrov, vsebnost UV absorbirajočih snovi, antocianov, klorofila *a*, klorofila *b* in specifična listna površina pa 42 % variabilnosti presevnih spektrov. Pomembno je izpostaviti dejstvo, da kar 63 % variabilnosti odbojnih spektrov, ter 58 % variabilnosti presevnih spektrov ostaja nerazloženih in da so potrebne dodatne raziskave, ki bi razkrile preostale dejavnike, ki vplivajo na variabilnost optičnih lastnosti listov pri tevju.

Pomanjkljivosti raziskave

Meritve odbojnih in presevnih spektrov so bile v NIR območju pri vseh listih zelo visoke. Maksimalna relativna odbojnost je bila med 70 % in 80 %, maksimalna relativna presevnost pa med 60 % in 90 %. Vsota deležev odbojnosti, presevnosti in absorbance naj bi znašala 100 %. Naši rezultati nakazujejo na napake pri merjenju. Menimo, da bi do napake pri merjenju odbojnosti v NIR lahko prišlo zaradi infrardečih odbojev 100 % črne referenčne ploščice, ki se je nahajala pod vzorcem.

Zaradi majhnih dimenzij podpornih listov pri tevju (2-3 cm dolgi in do 1,5 cm široki (Hegi, 1926)) smo bili omejeni z velikostjo vzorcev za potrebe analiz. Vrednosti nekaterih biokemijskih snovi in tudi mase so bile zelo nizke, zaradi uporabljenih metod pa je lahko prišlo do napake pri merjenju. Metode so sicer široko preizkušene, zato bi bilo smiselno prilagoditi količine vzorcev. Večje število vzorcev bi bolj z gotovostjo pokazalo statistično značilne razlike med posameznimi tipi listov tevja.

Zaradi omenjenih pomanjkljivosti raziskave je pri interpretaciji rezultatov potrebna previdnost.

Predlogi za nadaljnje raziskave

Raziskava, ki smo jo opravili, je odprla veliko novih vprašanj, ki bi jih bilo vredno raziskati.

Da bi lažje pojasnili razlike med podpornimi in pritličnimi listi na nižji in višji nadmorski višini, bi bilo potrebno meriti okoljske parametre, v katerih se rastline razvijajo. To so svetlobne razmere, količina padavin, temperatura, koncentracija hranil v tleh, natančna opredelitev mikrohabitatskih razmer in podobno. Za večjo primerljivost bi bilo smiselno izbrati lokacije, ki so si med seboj z vidika svetlobnih razmer podobne. Hkrati bi bilo smiselno rastline nabrati na skrajnih nadmorskih višinah, da bi bila razlika v nadmorski višini med lokacijami čim večja. Pomemben pa je tudi čas vzorčenja, saj se lastnosti listov spreminjajo.

Še bolje bi bilo, če bi opravljali raziskave v laboratorijsko kontroliranem okolju, kjer bi lahko nadzirali številne dejavnike, ki morebitno vplivajo na biokemijske in morfološke parametre, ter posledično na odbojnost in presevnost.

Potrebno bi bilo natančno proučiti anatomsko/morfološko zgradbo podpornih in pritličnih listov, saj bi na ta način dobili pomembno informacijo za interpretacijo optičnih lastnosti listov.

Zanimivo bi bilo tudi ugotoviti, kdo so opraševalci tevja in kaj jih privabi. Smiselno bi bilo izvesti fotografiranje podpornih listov in kobulov v različnih fazah razvoja kobula pod UV svetlobo in na ta način dobiti podatke o prisotnosti morebitnih UV vzorcev.

5.2. SKLEPI

Hipotezo, da se bodo optične lastnosti podpornih listov v času razvoja kobula spreminjale, ter da bomo del spremembe optičnih lastnosti lahko razložili z vsebnostjo UV absorbirajočih snovi, lahko potrdimo. Optične lastnosti podpornih listov se v času razvoja kobula spreminjajo. Spremembe so statistično značilne v zelenem, rumenem, rdečem in NIR delu odbojnega spektra na nižji nadmorski višini. Podporni listi plodečega kobula so imeli statistično značilno nižjo odbojnost od ostalih dveh tipov podpornih listov. Na višji nadmorski višini so bile razlike v UV-B delu odbojnega spektra (podporni listi cvetočih kobulov imeli najnižjo odbojnost) in rdečem delu odbojnega spektra (podporni listi plodečih kobulov imeli najnižjo odbojnost). Razlike v presevnih spektrih so bile v UV-B, UV-A in vijoličnem delu spektra na nižjih nadmorskih višinah in v UV-B, UV-A in NIR delu spektra na višji nadmorski višini. Podporni listi plodečih kobulov so imeli statistično značilno nižjo presevnost vsaj od enega od ostalih tipov podpornih listov. Vsebnost UV-A in UV-B absorbirajočih snovi ter antocianov je naraščala z razvojem kobula, a spremembe so bile statistično značilne le na nižjih nadmorskih višinah. Vsebnost UV absorbirajočih snovi je statistično značilno negativno korelirala z UV presevnimi spektri.

Hipotezo, da se bodo optične lastnosti podpornih listov vsaj v določeni fazi razvoja razlikovale od optičnih lastnosti pritličnih dlanasto deljenih listov, lahko potrdimo. Statistično značilne razlike smo našli v različnih delih odbojnih in presevnih spektrov tako na nižjih kot višjih nadmorskih višinah.

Hipotezo, da bodo razlike v odbojnih spektrih listov večje kot razlike v presevnih spektrih, lahko le delno potrdimo. V posameznih delih odbojnih spektrov listov smo našli več statistično značilnih razlik kot pa v posameznih delih presevnih spektrov le pri pritličnih listih na višji nadmorski višini.

Hipotezo, da se bodo optične in biokemijske lastnosti podpornih in pritličnih listov na različnih nadmorskih višinah razlikovale, lahko delno potrdimo. Statistično značilnih razlik je bilo več pri podpornih listih in sicer v določenih delih odbojnih in presevnih spektrov, v vsebnosti antocianov in klorofila *a*. Pri pritličnih listih je bilo statistično značilnih razlik manj in sicer v vsebnosti antocianov, v specifični listni površini ter le v UV-B delu presevnega spektra pri razvitih pritličnih listih.

6 POVZETEK

Tevje (*Hacquetia epipactis*) je nizkorasla trajnica, ki raste v gozdni podrasti. Pri tevju podporni listi obkrožajo rumen kobul in imajo vlogo cvetnega odevala. V raziskavi smo želeli ugotoviti, ali se se optične in biokemijske lastnosti podpornih listov v času razvoja kobula spreminjajo in ali so drugačne v primerjavi z različno razvitimi pritličnimi listi. Obenem nas je zanimalo, kakšen vpliv ima na te lastnosti nadmorska višina.

Rastline smo nabrali aprila 2016 na dveh lokacijah na nižji nadmorski višini (Preska pri Medvodah, 350 m n.m.; Zavrh pod Šmarno goro, 340 m n.m.) v mešanem gozdu in na eni lokaciji na višji nadmorski višini (južno pobočje Begunjščice, 980 m n.m.). Nabirali smo podporne liste pri mladih, cvetočih in plodečih kobulih ter nerazvite in razvite pritlične liste. Za vsak tip lista smo nabrali po 10 vzorcev na višji in nižji nadmorski višini (skupaj 100 vzorcev).

Želeli smo ugotoviti kakšen je vpliv morfoloških in biokemijskih parametrov na optične lastnosti podpornih in pritličnih listov tevja. Merili smo odbojnost in prepustnost listov, biokemijske parametre (antociani, klorofil *a*, klorofil *b*, karotenoidi, UV-B in UV-A absorbirajoče snovi) in morfološke parametre (specifična listna površina). Primerjave smo izvedli ločeno med podpornimi listi (na nižji in višji nadmorski višini), ločeno med pritličnimi listi (na nižji in višji nadmorski višini), med podpornimi in pritličnimi listi (na nižji in višji nadmorski višini), ter pri posameznem tipu lista med različnimi nadmorskimi višinami.

Oblike odbojnih in presevnih spektrov so bile podobne pri vseh tipih listov in so značilne za zelene rastline. Razlike v posameznih delih spektrov so posledica biokemijskih in morfoloških lastnosti listov. S pomočjo RDA analize smo ugotovili, da vsebnost UV absorbirajočih snovi, karotenoidov in klorofila *a* razloži 37 % variabilnosti odbojnih spektrov, vsebnost UV absorbirajočih snovi, antocianov, klorofila *a*, klorofila *b* in specifična listna površina pa 42 % variabilnosti presevnih spektrov. Ostali deleži variabilnosti optičnih spektrov so ostali nepojasneni.

Ugotovili smo, da med posameznimi tipi podpornih listov obstajajo statistično značilne razlike v biokemijskih lastnostih (antociani, klorofil *a*, UV absorbirajoče snovi) in morfoloških lastnostih (specifična listna površina), ki so izražene le na nižjih nadmorskih višinah. Vsebnost UV absorbirajočih snovi in antocianov je v nižini tekom razvoja kobula v podpornih listih naraščala. Naraščanje v koncentracijah teh snovi nismo uspeli povsem pojasniti (naravni razvoj listov, razlika v času nabiranja listov). Razlike v posameznih delih spektrov odbojnosti in presevnosti podpornih listov so prisotne ne glede na nadmorsko višino. V nižini so imeli podporni listi plodečih kobulov najnižjo odbojnost, ki se je statistično značilno razlikovala od ostalih dveh podpornih listov v zelenem, rumenem, rdečem in NIR delu spektra. To smo povezali z večjo vsebnostjo UV absorbirajočih snovi, antocianov in manjšo specifično listno površino.

Nerazviti in razviti pritlični listi so se razlikovali v optičnih lastnostih, ne pa v biokemijskih. Statistično značilnih razlik v posameznih delih presevnih spektrov je bilo manj kot pri odbojnih. Nerazviti pritlični listi so imeli višjo odbojnost in presevnost v vseh

delih spektra, razen v NIR odbojnem spektru na vseh nadmorskih višinah, ter v UV-B presevnem spektru na nižji nadmorski višini. Predvidevamo, da je to povezano predvsem z anatomsko zgradbo mladih listov, ki pa je nismo proučevali. Opazili smo večjo bleščečnost teh listov, ki se odraža v večji odbojnosti v vidnem delu spektra.

Med različni tipi podpornih in pritličnih listov so razlike v biokemijskih lastnostih izražene predvsem na nižji nadmorski višini, medtem ko je razlika v optičnih lastnostih prisotna ne glede na nadmorsko višino. Podporni listi plodečih kobulov in razviti pritlični listi so si v optičnih lastnostih zelo podobni. Predvidevamo, da gre v obeh primerih za formirane liste, pri katerih je tudi opazna manjša specifična listna površina.

Pri primerjavi istih tipov listov na različnih nadmorskih višinah je bilo malo razlik. Nerazviti pritlični listi so imeli na nižji nadmorski višini manj antocianov, in imeli višjo specifično listno površino. To smo utemeljili z višjim UV sevanjem in nižjimi temperaturami na višjih nadmorskih višinah. Razlike pri podpornih listih med višinama so bile v vsebnosti antocianov in klorofila *a*, razlike pa so bile tudi v odbojnih in presevnih spektrih.

V splošnem smo ugotovili, da je bilo na višji nadmorski višini manj statistično značilnih razlik v optičnih in biokemijskih parametrih listov tevja, med podpornimi listi je bilo več statistično značilnih razlik kot med pritličnimi listi in med nadmorskimi višinami je bilo malo statistično značilnih razlik. Na višji nadmorski višini verjetno obstajajo omejujoče razmere, ki vplivajo na biokemijske procese v rastlinah.

7 VIRI

- Anderson J.M. 1986. Photoregulation of the composition, function and structure of thylakoid membranes. *Annual Review of Plant Physiology*, 37: 93-136
- Apiaceae. Wikipedia, the Free Encyclopedia (31. jul. 2016)
<https://en.wikipedia.org/wiki/Apiaceae> (2. avg. 2016)
- Baltzer J.L., Thomas S.C. 2005. Leaf optical responses to light and soil nutrient availability in temperate deciduous trees. *American Journal of Botany*, 92: 241-223
- Bate-Smith E.C. 1962. The phenolic constituents of plants and their taxonomic significance. I. Dicotyledons. *Journal of the Linnean Society of London, Botany*, 58, 371: 75-173
- Bavcon J. 2013. Naše rastline. Celovec, Mohorjeva družba: 69-70
- Binckenstein J., Schaefer H.M. 2015. Flower colours in temperate forest and grassland habitats: a comparative study. *Arthropod-Plant Interactions*, 9, 3: 289-299
- Björn L.O., Ghiradella H. 2015. Spectral tuning in biology I: pigments. V: *Photobiology: The Science of Light and Life*. Björn L.O. (ur.). New York, Springer-Verlag: 97-117
- Blackburn G.A. 2006. Hyperspectral remote sensing of plant pigments. *Journal of Experimental Botany*, 58, 4: 855-867
- Brown M.J., Parker G.G., Posner N.E. 1994. A Survey of Ultraviolet-B Radiation in Forests. *The Journal of Ecology*, 82, 4: 843-854
- Caldwell M.M. 1968. Solar Ultraviolet Radiation as an Ecological Factor for Alpine Plants. *Ecological Monographs*, 38, 3: 243-268
- Calviño C.I., Downie S.R. 2007. Circumscription and phylogeny of Apiaceae subfamily Saniculoideae based on chloroplast DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 44: 175 - 191
- Carter G.A., Knapp A.K. 2000. Leaf optical properties in higher plants: Linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany*, 88, 4: 677-684
- Carter G.A., Spiering B.A. 2002. Optical properties of intact leaves for estimating chlorophyll concentration. *Journal of Environmental Quality*, 31: 1424-1432
- Cerovic Z.G., Ounis A., Cartelat A., Latouche G., Goulas Y., Meyer S., Moya I. 2002. The use of chlorophyll fluorescence excitation spectra for the non-destructive in situ assessment of UV-absorbing compounds in leaves. *Plant, Cell and Environment*, 25, 12: 1663-1676
- Chalker-Scott L. 1999. Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses. *Photochemistry and Photobiology*, 70: 1-9
- Chazdon R.L., Pearcy R.W. 1991. The Importance of Sunflecks of Forest Understory Plants. *BioScience*, 41, 11: 760-766
- Committee on Military Nutrition Research, Institute of Medicine. 1996. *Nutritional Needs in Cold and High-Altitude Environments: Applications for Military Personnel in Field Operations*. National Academies Press: 404

- <https://books.google.si/books?id=1cKaAgAAQBAJ&pg=PT420&lpg=PT420&dq=uv-b+radiation+altitude&source=bl&ots=nvoXzcZJFt&sig=58D0AIYcbRAWt4xFA6WlawaJvrg&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwiltebf8J3OAhUG7xQKH5R5DIgQ6AEIgwEwEg#v=onepage&q=uv-b%20radiation%20altitude&f=false> (2. avg. 2016)
- Crowden R.K., Harborne J.B., Heywood V.H. 1969. Chemosystematics of the umbelliferae - a general survey. *Phytochemistry*, 8: 1963-1984
- Daubenmire R.F. 1974. *Plants and Environment: A Textbook of Plant Autecology*. 3rd edition. New York, John Wiley & Sons: 422 str.
- Demmig-Adams B., Adams W.W. 1996. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. *Trends in Plant Science*, 1: 21-26
- Drumm H., Mohr H. 1978. The mode of interaction between blue (UV) light photoreceptor and phytochrome in anthocyanin formation of the Sorghum seedling. *Photochemistry and Photobiology*, 27, 2: 241-248
- Esteban R., Fernández-Marín B., Becerril J.M., García-Plazaola J.I. 2008. Photoprotective implication of leaf variegation in *E. dens-canis* L. and *P. officinalis* L. *Journal of Plant Physiology*, 165: 1255-1263
- Fægri K., van der Pijl L. 1979. *The principles of pollination ecology*. Oxford, Pergamon: 244 str.
- Federer C.A., Tanner L.B. 1966. Spectral distribution of light in the forest. *Ecology*, 47: 555-560
- Filella I., Peñuelas J. 1999. Altitudinal differences in UV absorbance, UV reflectance and related morphological traits of *Quercus ilex* and *Rhododendron ferrugineum* in the Mediterranean region. *Plant Ecology*, 145, 1: 157-165
- Gaberščik A., Novak M., Trošt T., Mazej Z., Germ M., Björn L.-O. 2001. The influence of enhanced UV-B radiation on the spring geophyte *Pulmonaria officinalis*. *Plant Ecology*, 154: 51-56
- Gamon J, Surfus J. 1999. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytol* 143: 105-117
- Geopedia. 2016.
<http://www.geopedia.si> (2. avg. 2016)
- Gilliam F.S. 2014. *The Herbaceous Layer in Forests of Eastern North America*. 2nd edition. New York, Oxford University Press: 46
- Gitelson A.A., Zur Y., Chivkunova O.B., Merzylak M.N. 2002. Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. *Photochemistry and Photobiology*, 75: 272-281
- Gogala A. 2014. Čebele Slovenije. Ljubljana, Založba ZRC, ZRC SAZU: 11
- Gould K.S. 2004. Nature's Swiss Army Knife: The diverse protective roles of anthocyanins in leaves. *Journal of Biomedicine and Biotechnology* 5: 314-320
- Grant R.H., Heisler G.M., Gao W., Jenks M. 2003. Ultraviolet leaf reflectance of common urban trees and the prediction of reflectance from leaf surface characteristics. *Agriculture and Forest Meteorology*, 120: 127-139

- Gronquist M., Bezzerides A., Attygalle A., Meinwald J., Eisner M., Eisner T. 2001. Attractive and defensive functions of the ultraviolet pigments of a flower (*Hypericum calycinum*). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98, 24: 13745-13750
- Harborne J.B., Nash R.J. 1984. Flavonoid pigments responsible for ultraviolet patterning in petals of the genus *Potentilla*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 12, 3: 315-318
- Hassler M. 2016. World Plants: Synonymic Checklists of the Vascular Plants of the World. In: Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 28th July 2016 (Roskov Y., Abucay L., Orrell T., Nicolson D., Kunze T., Flann C., Bailly N., Kirk P., Bourgoin T., DeWalt R.E., Decock W., De Wever A., eds). Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands (maj 2016) www.catalogueoflife.org/col (3. avg. 2016)
- Hegi G. 1926. *Illustrierte Flora von Mittel-Europa* 5, 2: 959-961
- Holmes M.G., Keiller D.R. 2002. Effects of pubescence and waxes on the reflectance of leaves in the ultraviolet and photosynthetic wavebands: a comparison of a range of species. *Plant, Cell and Environment*, 25: 85-93
- Hunt E.R., McMurtrey J.E., Williams Parker A.E., Corp L.A. 2004. Spectral Characteristics of Leafy Spurge (*Euphorbia esula*) Leaves and Flower Bracts. *Weed Science*, 52, 4: 492-497
- Jacquemoud S., Baret F. 1990. Prospect: A model of leaf optical properties spectra. *Remote Sensing of Environment*, 34: 75-91
- Jacquemoud S., Baret F., Guyot G. 1989. Modelization of leaf optical properties for interpreting high spectral resolution reflectance measurements. *Proceedings of the 9th EARSeL Symposia*: 472-483
- Jogan N., Bačič T., Frajman B., Leskovar I., Naglič D., Podobnik A., Rozman B., Strgulc-Krajšek S., Trčak B. 2001. *Gradivo za Atlas flore Slovenije*. Jogan N. (ur.). Miklavž na Dravskem polju, Center za kartografijo favne in flore: 185
- Karabourniotis G., Papadopoulos K., Papamarkou M., Manetas Y. 1992. Ultraviolet-B radiation absorbing capacity of leaf hairs. *Physiologia Plantarum*, 86: 414-418
- Karta gozdnih združb Slovenije. 2016. <http://gis.zrc-sazu.si/zrcgis> (2. avg. 2016)
- Kindl G., Raab W. 1993. *Licht und Haut*. Frankfurt Am Main, Govi-Verlag: 349 str.
- Klančnik K., Mlinar M., Gaberščik A. 2012. Heterophylly results in a variety of »spectral signatures« in aquatic plant species. *Aquatic botany*, 98: 20-26
- Klančnik K., Pančič M., Gaberščik A. 2014. Leaf optical properties in amphibious plant species are affected by multiple leaf traits. *Hydrobiologia*, 737: 121-130
- Konoplyova A., Petropoulou Y., Charilaos Yiotis Y., Psaras G.K., Manetas Y. 2008. The fine structure and photosynthetic cost of structural leaf variegation. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 203, 8: 653-662
- Košmelj K. 2007. *Uporabna statistika*. 2. izdaja. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 214. http://www.bf.uni-lj.si/fileadmin/groups/2721/Uporabna_statistika_okt_2007/Uporabna_statistika_01.pdf (2. avg. 2016)

- Kudo G., Ida T.Y., Tani T. 2008. Linkages between phenology, pollination, photosynthesis, and reproduction in deciduous forest understory plants. *Ecology*, 89, 2: 321-331
- La Rocca N., Pupillo P., Puppi G., Rascio N. 2014. *Erythronium dens-canis* L. (Liliaceae): An unusual case of change of leaf motiling. *Plant Physiology and Biochemistry*, 74: 108-117
- La Rocca N., Rascio N., Pupillo P. 2011. Variegation in *Arum italicum* leaves. A structural-functional study. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49: 1392-1398
- Lambers H., Chapin F.S., Pons. T.L. 1998. *Plant physiological ecology*. New York, Springer-Verlag: 634 str.
- Larcher W. 2003. *Physiological plant ecology, ecophysiology and stress physiology of functional groups*. 4th edition. Heidelberg, Springer: 513 str.
- Le Gouallec J.L., Comic G., Blanc P. 1990. Relations between sunfleck sequences and photoinhibition of photosynthesis in a tropical rain forest understory herb. *American Journal of Botany*, 77: 999-1006
- Leakey A.D.B., Scholes J.D., Press M.C. 2005. Physiological and ecological significance of sunflecks for dipterocarp seedlings. *Journal of Experimental Botany*, 56: 469-482
- Lee D.W., Lowry J.B. 1980. Young-Leaf Anthocyanin and Solar Ultraviolet. *Biotropica*, 12, 1: 75-76
- Lee D.W., Lowry J.B., Stone B.C. 1979. Abaxial anthocyanin layer in leaves of tropical rain forest plants: enhancer of light capture in deep shade. *Biotropica*, 11: 70-77
- Levetin E., McMahon K. 2008. *Plants and Society*. 5th edition. Boston, McGraw-Hill Higher Education: 544 str.
- Levizou E., Drilias P., Psaras G.K., Manetas Y. 2005. Nondestructive assessment of leaf chemistry and physiology through spectral reflectance measurements may be misleading when changes in trichome density co-occur. *New Phytologist*, 165: 463-472
- Lichtenthaler H.K., Buschmann C. 2001a. Extraction of photosynthetic tissues: chlorophylls and carotenoids. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*: F4.2.1-F4.2.6
- Lichtenthaler H.K., Buschmann C. 2001b. Chlorophylls and carotenoids - Measurement and characterisation by UV-VIS. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*: F4.3.1 - F4.3.8
- Liew O.W., Chong P.C.J., Li B., Asundi A.K. 2008. Signature optical cues: emerging technologies for monitoring plant health. *Sensors*, 8: 3205-3239
- Martinčič A., Wraber T., Jogan N., Podobnik A., Turk B., Vreš B., Ravnik V., Frajman B., Strgulc-Krajšek S., Trčak B., Bačič T., Fischer M.A., Eler K., Surina B. 2007. *Mala flora Slovenije: Ključ za določevanje praprotnic in semenk*. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 967 str.
- Mastnak M. 2012. *Cvetoča pomlad. Dob pri Domžalah*, Miš: 86-88

- Merzlyak M.N., Chivkunova O.B., Solovchenko A.E., Naqvi K.R. 2008. Light absorption by anthocyanins in juvenile, stressed, and senescing leaves. *Journal of Experimental Botany*, 59, 14: 3903-3911
- Middleton L. 2001. Shade-tolerant flowering plants: adaptations and horti-cultural implications. *Acta Horticulturae*, 552: 95-102
<https://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.552.9> (17. avg. 2016)
- Natalija. 2009. Divja čebelica na tevju (Wild bee (*Andrena* sp.) on *Hacquetia epipactis*) (4. apr. 2009)
<https://www.flickr.com/photos/93433545@N00/3414272092/in/photolist-6rabCK-6sXdD9-4A4NqD-5dwHcx-72vvgv-6cH39d-vGHHQC-5cjzBP-73sMqU-5877CT-5Y3iuX-6eMxUV-4DbpG3-5YDTNg-6gFQek-qKjPsT-5YmCvA-4EnJ4T-rjgkPA-5NWb9T-5Y7aDs-4JU3Gn-dFUmgd-iAEvGL-rpEwWp-bAWyND-dFUhmN> (17. avg. 2016)
- Neill S., Gould K.S. 2000. Optical properties of leaves in relation to anthocyanin concentration and distribution. *Canadian Journal of Botany*, 77, 12: 1777-1782
- Niemirski R., Zych M. 2011. Fly pollination of dichogamous *Angelica sylvestris* (Apiaceae): How (functionally) specialized can a (morphologically) generalized plant be? *Plant Systematics and Evolution*, 294, 3:147–158
- Nowak A., Nowak S. 2001. A new locality of *Hacquetia epipactis* (Scop.) DC. in Opole Silesia. *Opolskie towarzystwo przyjaciół nauk*, 35: 17-24
- Oberdorfer E. 1994. *Pflanzensoziologische Exkursionsflora*. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer: 1050 str.
- Oh W., Kim K.S. 2010. Temperate and light intensity induce morphological and anatomical changes of leaf petiole and lamina in *Cyclamen persicum*. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 51: 494-500
- Orych A., Walczykowski P., Dabrowski R., Kutyna E. 2013. Using plant spectral response curves in detecting plant stress. *Ecological Questions*, 17: 67-74
- Pfündel E.E., Agati G., Cerovic G.Z. 2006. Optical properties of plant surfaces. V: Biology of the Plant Cuticle. *Annual Plant Reviews*. Riederer M., Müller C. (ur.). Oxford, Blackwell Publishing: 216-239
- Powles S.B., Bjorkman O. 1981. Leaf movement in the shade species *Oxalis oregana*. II. Role in protection against injury by intense light. *Carnegie Institution of Washington Yearbook*, 80: 63-66
- Qi Y., Bai S., Heisler G. M., 2003. Changes in ultraviolet-B and visible optical properties and absorbing pigment concentrations in pecan leaves during a growing season. *Agricultural and Forest Meteorology*, 120: 229-240
- Rothstein D.E., Zak D.R. 2001. Photosynthetic adaptation and acclimation to exploit seasonal periods of direct irradiance in three temperate deciduous-forest herbs. *Functional Ecology*, 15: 722-731
- Schemske D.W., Willson M.F., Melampy M.N., Miller L.J., Verner L., Schemske K.M., Best L.B. 1978. Flowering Ecology of Some Spring Woodland Herbs. *Ecology*, 59, 2: 351-366

- Slaton M.R., Hunt Jr. E.R., Smith W.K. 2001. Estimating near-infrared leaf reflectance from leaf structural characteristics. *American Journal of Botany* 88, 2: 278-284
- Taiz L., Zeiger E. 2010. *Plant Physiology*. 5th edition. Sunderland, Sinauer associates: 782 str.
- Tome S. 2009. *Gozd. Naravoslovna solnica*, 14, 1: 4-8
- Trošt Sedej T. 2005. *Ekologija rastlin: priročnik za vaje*. Ljubljana, Študentska založba: 81 str.
- Tsukaya H., Okada H., Mohamed M. 2004. A novel feature of structural variegation in leaves of the topical plant *Schismatoglottis calyprate*. *Journal of Plant Research*, 117: 477-480
- van der Kooi C.J., Elzenga J.T.M., Staal M., Stavenga D.G. 2016. How to colour a flower: on the optical principles of flower coloration. *Proceedings of the Royal Society B*, 2831 1830: 20160429.
<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2016.0429> (17. avg. 2016)
- Velazquez-Rosas N., Barradas V.L., Vazquez-Santana S., Cruz-Ortega R., Garcia-Jimenez F., Toledo-Alvarado E., Orozco-Segovia A. 2010. Optical and morpho-functional traits of the leaves of tree species growing in a mountain cloud forest. *Acta Oecologica*, 36, 6: 587-598
- Vignolini S., Thomas M.M., Kolle M., Wenzel T., Rowland A., Rudall P. J., Baumberg J.J., Glover B.J, Steiner U. 2012. Directional scattering from the glossy flower of *Ranunculus*: how the buttercup lights up your chin. *Journal of The Royal Society Interface*, 9: 1295–1301
- Vogel S. 2012. *The life of a leaf*. Chicago and London, The University of Chicago Press: 320 str.
- Vogelmann T.C. 1993. Plant tissue optics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 44: 231-251
- Vogelmann T.C., Nishio J.N., Smith W.K. 1996. Leaves and light capture: light propagation and gradients of carbon fixation within leaves. *Trends in Plant Science*, 1, 2: 65-71
- Wooley J.T. 1971. Reflectance and transmittance of light by leaves. *Plant Physiol*, 47: 656-662
- Wraber T. 1997. Rastlina meseca aprila: tevje - nenavadna kobulnica domačih gozdov. *Proteus*, 59, 8: 385-386
- Yoshimura H., Zhu H., Wu Y., Ma R. 2010. Spectral properties of plant leaves pertaining to urban landscape design of broad-spectrum solar ultraviolet radiation reduction. *International Journal of Biometeorology*, 54: 179-191
- Zhang Y., Hayasi T., Hosokawa M., Yazawa S., Li Y. 2009. Metallic lustre and the optical mechanism generated from the leaf surface of *Begonia rex* Putz. *Scientia Horticulturae*, 121: 213-217
- Zhao J.G., Zhang Y.Q. 2016. A new estimation of the total flavonoids in silkworm cocoon sericin layer through aglycone determination by hydrolysis-assisted extraction and HPLC-DAD analysis. *Food & Nutrition Research*, 60: 30932.
<http://dx.doi.org/10.3402/fnr.v60.30932>. (17. avg. 2016)



ZAHVALA

Iskrena hvala tistemu birokratu, ki se je vendarle odločil, da vse falirane študente postavi pred ultimat in nam končno določil rok, do katerega še lahko diplomiramo po starem študijskem programu. Še sanja se mu ne, kakšno zadoščanje je s tem storil mojim staršem, ki so se že sprijaznili s tem, da so vsa moja študijska leta metali denar skozi okno in mene rešil zadrege, v katero bi me najstniška hči spravila z vprašanjem: »Fot'r, sej ti tud' nisi diplomiral, pa kva ti manjka?«

Vseh, ki so mi tekom študija stali ob strani, je mnogo preveč za naštevanje in krivico bi zagrešil, če bi katerega izpustil, pa vendar vsem hvala! Poimensko naj zato omenim le nekaj tistih, ki so letošnje poletje švicali z menoj in brez katerih diplomsko delo zagotovo ne bi ugledalo luči.

Hvala mentorici prof. dr. Alenki Gaberščik za usmerjanje, spodbudo in neprecenljivo pripravljenost pomagati v vsakem trenutku številnim obveznostim navkljub.

Hvala DrAganu Abramcu za razodetje praktičnih veščin in statističnih postopkov.

Hvala prof. dr. Mateji Germ za hiter pregled in prijaznost.

Hvala prof. dr. Katarini Vogel Mikuš za tehtne pripombe.

Hvala dr. Simoni Sturgulc in prof. dr. Nejcju Joganu za razsvetlitev botaničnih skrivnosti.

Hvala Romanu Luštriku za klepet o statistiki.

Hvala dr. Maartenu de Grootu za določitev muhe trepetavke.

Hvala doc. dr. Jasni Dolenc Koce, Zdenki Repanšek Tavčar in Ljubi Primožič Vrhovac za reševanje administrativnih zapletov.

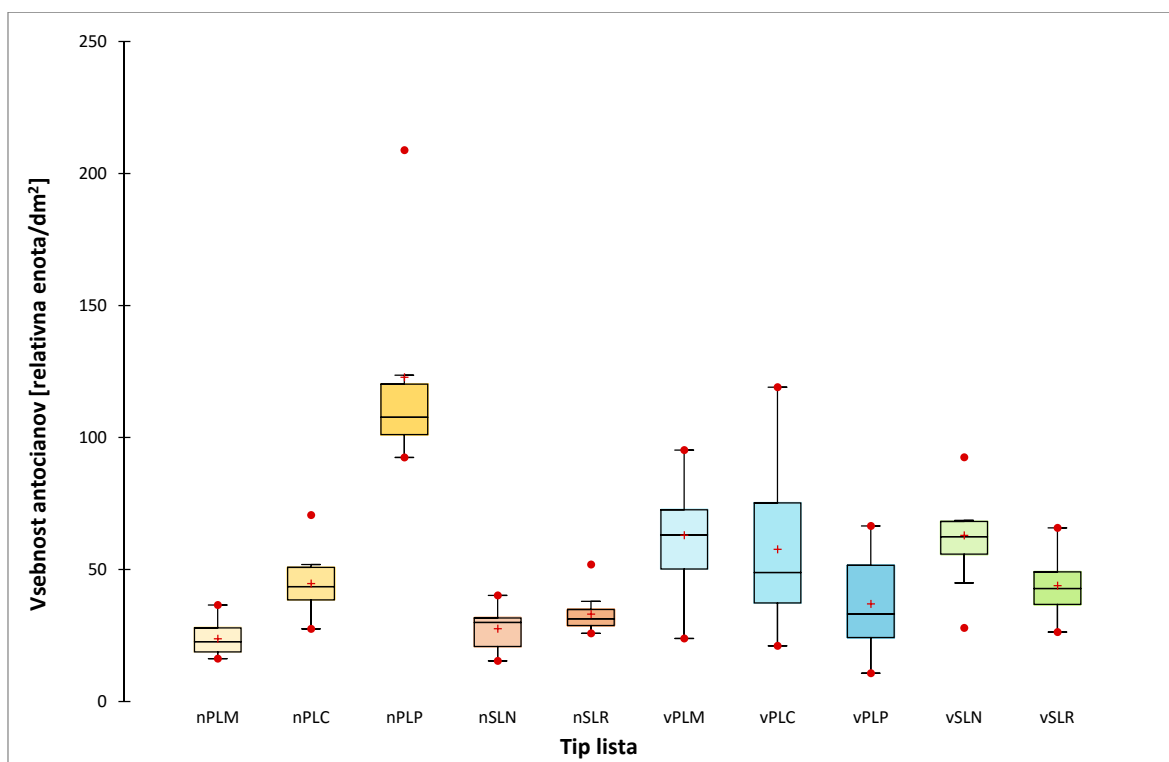
Hvala Lučki Glavač za temeljit pregled.

In še posebno hvala Vesni za vse in še več!

PRILOGE

Priloga A

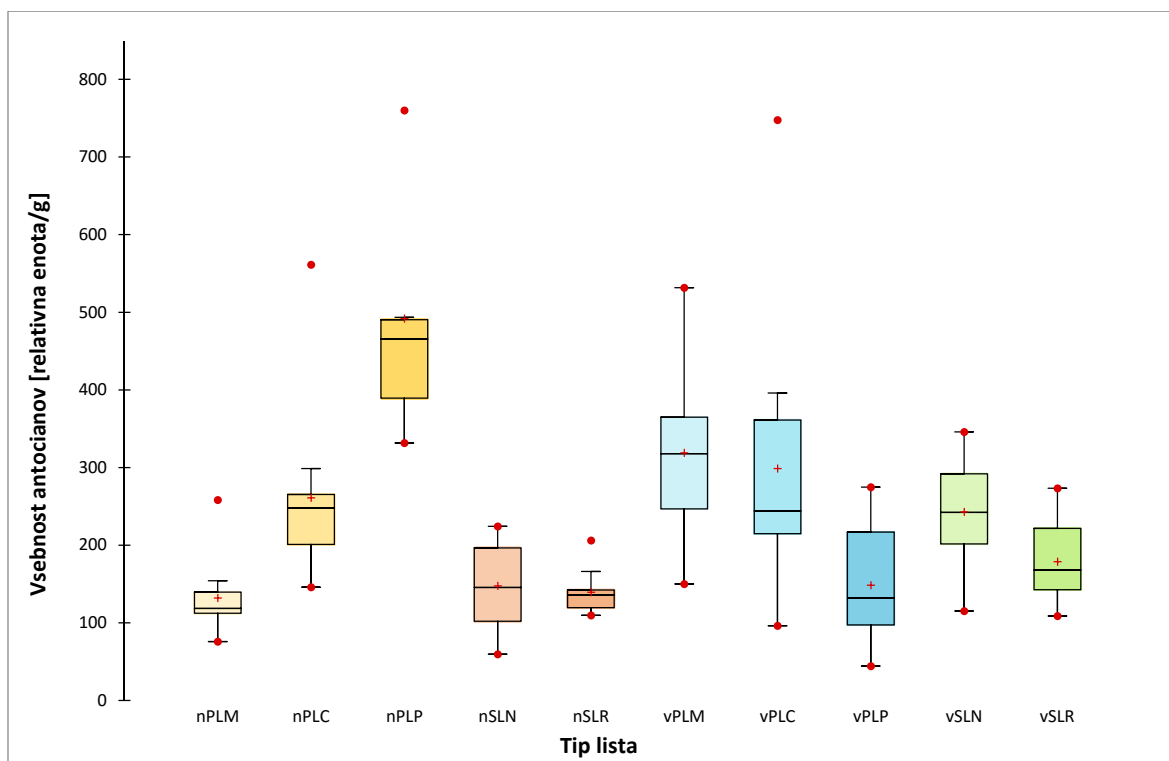
Vsebnosti antocianov pri različnih tipih listja pri tevju



Vsebnost antocianov (merjeno pri 510 nm) na površino pri različnih tipih listov pri tevju. nPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., vPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v., nPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. vPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., nPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., vPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., nSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., vSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., nSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., vSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; n=10.

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za antociane (merjeno pri 510 nm) na površino pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

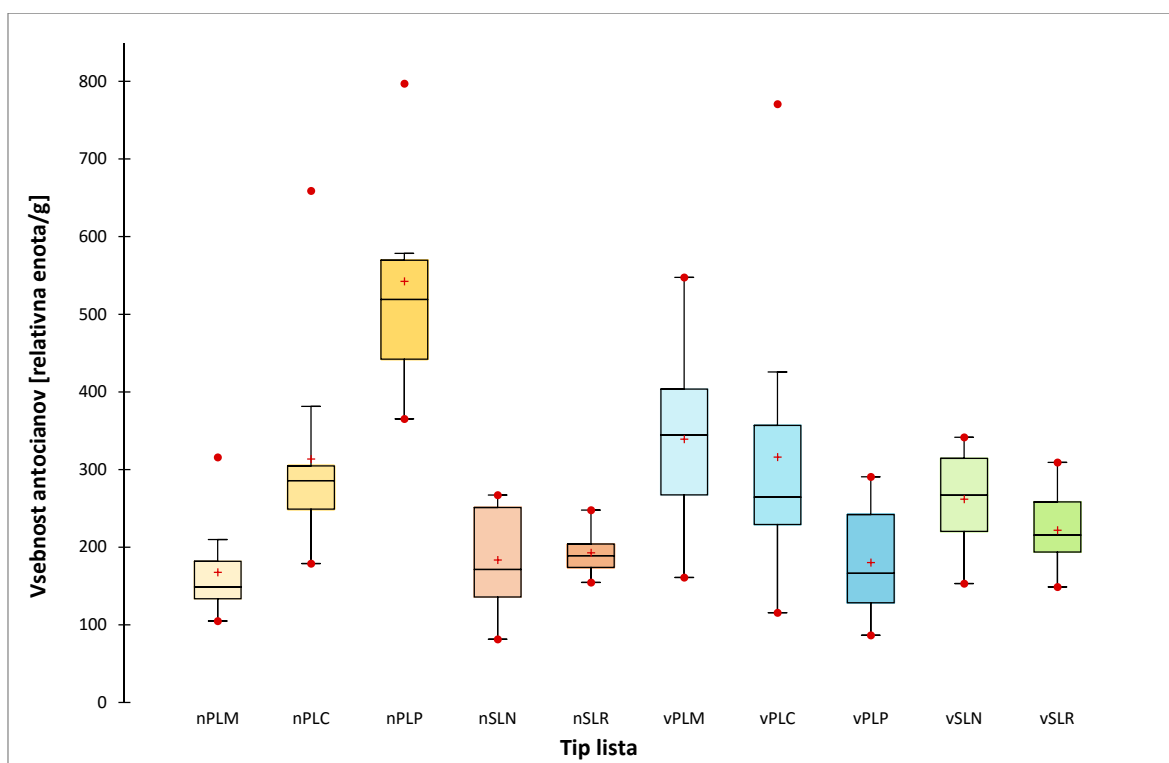
| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLM | A |
| nSLN | A B |
| nSLR | A B C |
| vPLP | A B C |
| vSLR | A B C |
| nPLC | A B C |
| vPLC | B C D |
| vPLM | C D |
| vSLN | C D |
| nPLP | D |



Vsebnost antocianov (merjeno pri 510 nm) na suho maso pri različnih tipih listov pri tevju. nPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., vPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v., nPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v., vPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., nPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., vPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., nSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., vSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., nSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., vSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; n=10.

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za antociane (merjeno pri 510 nm) na suho maso pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLM | A |
| nSLR | A |
| nSLN | A B |
| vPLP | A B |
| vSLR | A B |
| vSLN | A B C |
| nPLC | A B C |
| vPLC | A B C |
| vPLM | B C |
| nPLP | C |



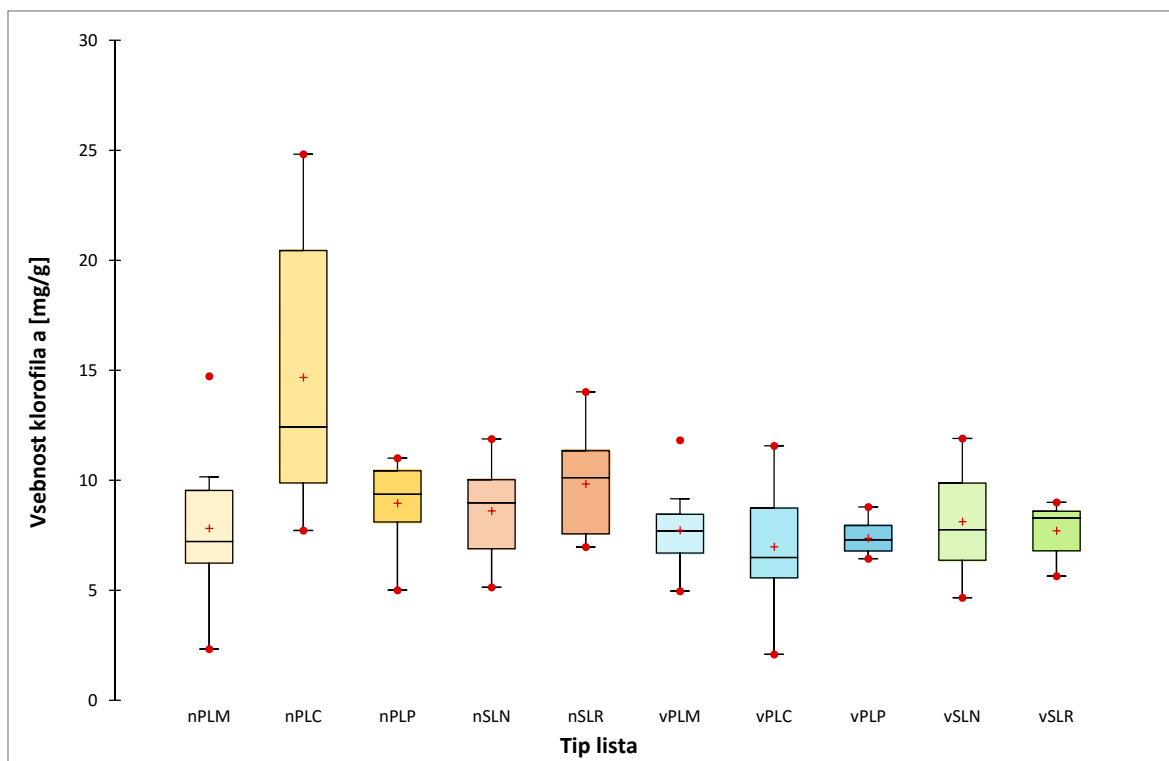
Vsebnost antocianov (merjeno pri 530 nm) na suho maso pri različnih tipih listov pri tevju. nPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., vPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v., nPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. vPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., nPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., vPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., nSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., vSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., nSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., vSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; n=10.

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za antociane (merjeno pri 530 nm) na suho maso pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLM | A |
| vPLP | A B |
| nSLN | A B |
| nSLR | A B |
| vSLR | A B |
| vSLN | A B C |
| vPLC | A B C |
| nPLC | A B C |
| vPLM | B C |
| nPLP | C |

Priloga B

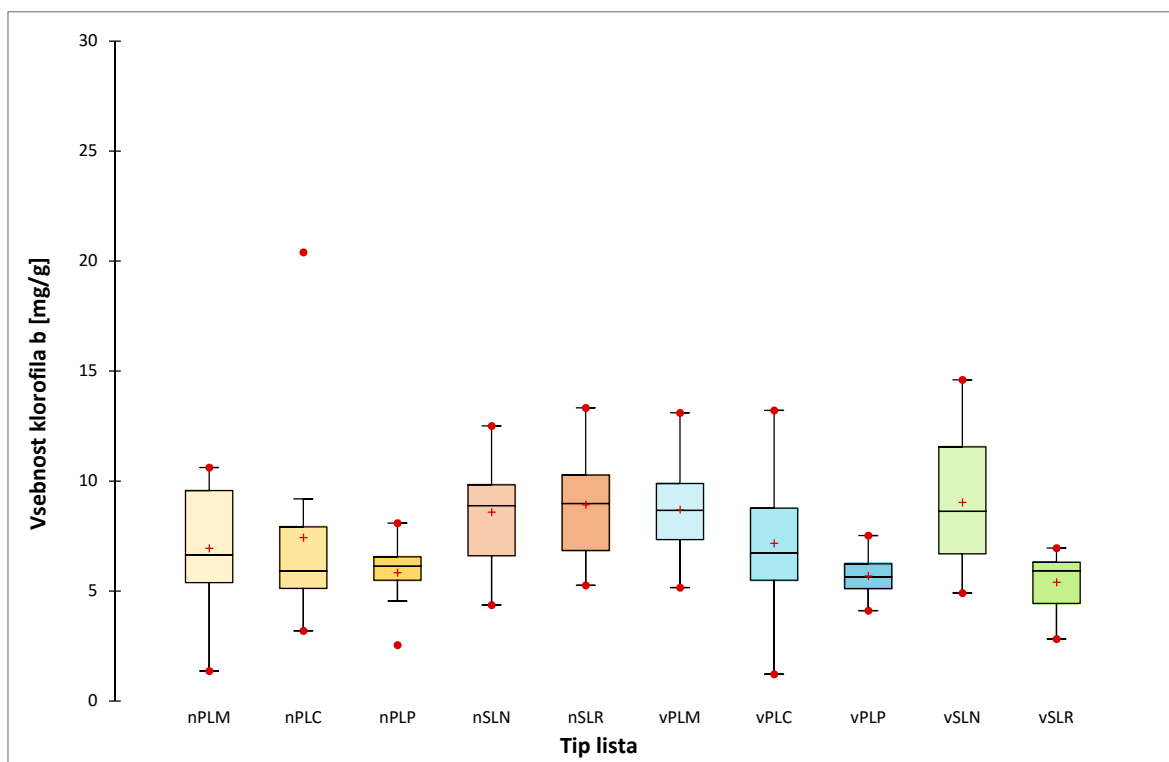
Vsebnosti klorofila *a* in *b* pri različnih tipih listja pri tevju



Vsebnost klorofila *a* na suho maso pri različnih tipih listov pri tevju. nPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., vPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v., nPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. vPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., nPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., vPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., nSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., vSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., nSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., vSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; n=10.

Rezultati ANOVA testa za vsebnost klorofila *a* na suho maso; p – vrednost <0,05

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLC | A |
| nSLR | B |
| nPLP | B |
| nSLN | B |
| vSLN | B |
| nPLM | B |
| vPLM | B |
| vSLR | B |
| vPLP | B |
| vPLC | B |



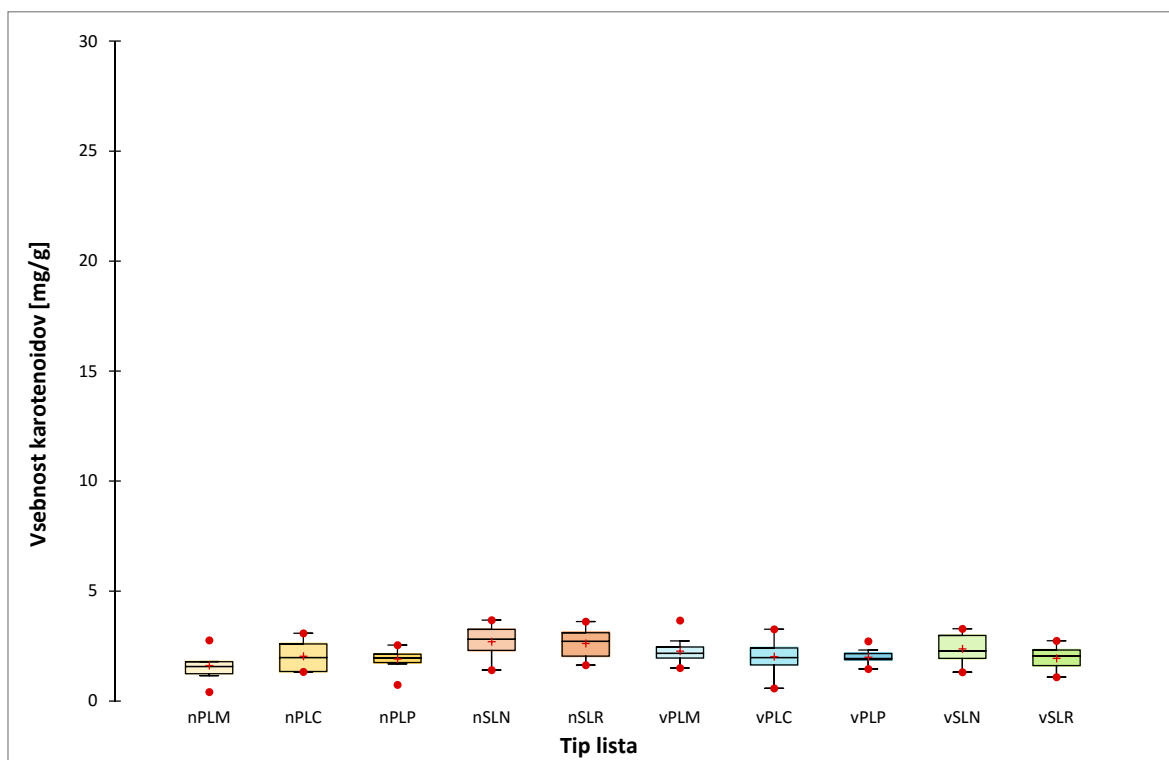
Vsebnost klorofila *b* na suho maso pri različnih tipih listov pri tevju. nPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., vPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v., nPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. vPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., nPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., vPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., nSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., vSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., nSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., vSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; n=10.

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za klorofil *b* na suho maso pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,002, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| vSLR | A |
| vPLP | A |
| nPLP | A |
| nPLC | A |
| nPLM | A |
| vPLC | A |
| nSLN | A |
| vSLN | A |
| vPLM | A |
| nSLR | A |

Priloga C

Vsebnosti karotenoidov pri različnih tipih listja pri tevju



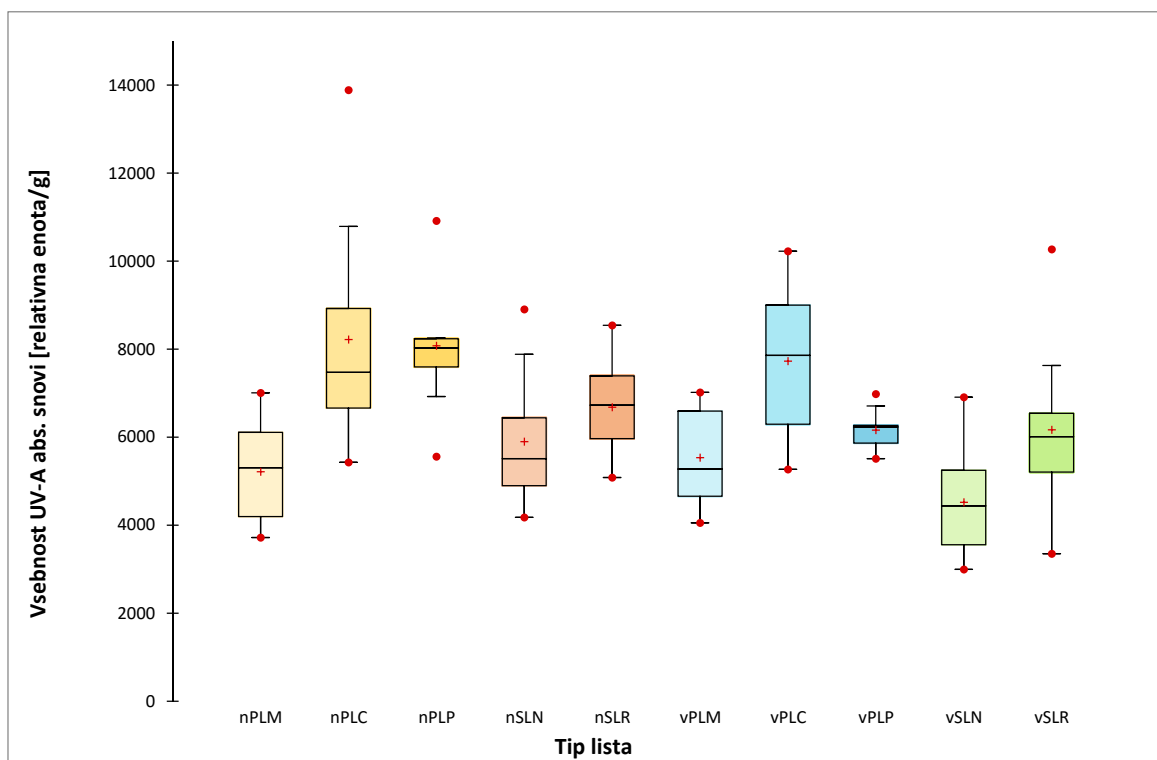
Vsebnost karotenoidov na suho maso pri različnih tipih listov pri tevju. nPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., vPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v., nPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. vPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., nPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., vPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., nSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., vSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., nSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., vSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; n=10.

Rezultati ANOVA testa za vsebnost karotenoidov na suho maso; p – vrednost <0,05

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nSLN | A |
| nSLR | A |
| vSLN | A B |
| vPLM | A B |
| nPLC | A B |
| vPLC | A B |
| vPLP | A B |
| vSLR | A B |
| nPLP | A B |
| nPLM | B |

Priloga D

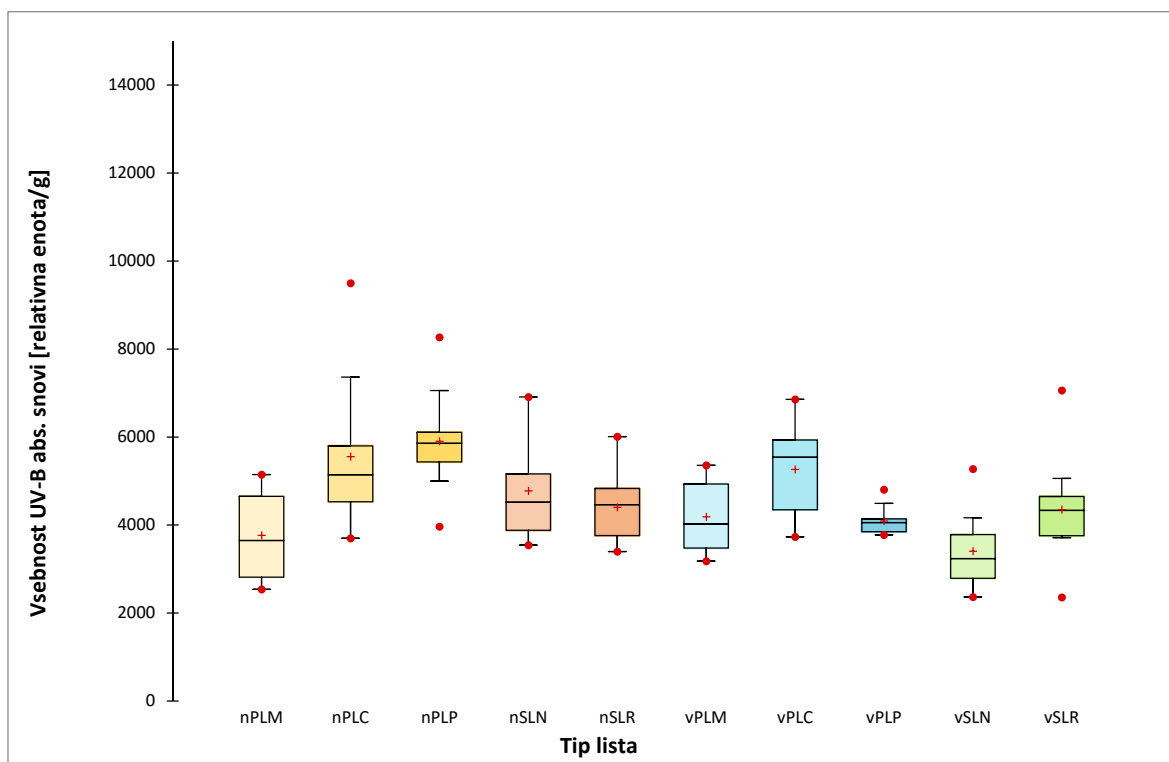
Vsebnosti UV absorbirajočih snovi na suho maso pri različnih tipih listja pri tevju



Vsebnost UV-A absorbirajočih snovi na suho maso pri različnih tipih listov pri tevju. nPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., vPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v., nPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. vPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., nPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., vPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., nSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., vSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., nSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., vSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; n=10.

Rezultati ANOVA testa za vsebnost UV-A absorbirajočih snovi na suho maso; p – vrednost <0,05

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLC | A |
| nPLP | A |
| vPLC | A B |
| nSLR | A B C |
| vSLR | A B C D |
| vPLP | A B C D |
| nSLN | B C D |
| vPLM | C D |
| nPLM | C D |
| vSLN | D |



Vsebnost UV-B absorbirajočih snovi na suho maso pri različnih tipih listov pri tevju. nPLM - podp. listi pri mladih kobulih na nižji n. v., vPLM – podp. listi pri mladih kobulih na višji n. v, nPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na nižji n. v. vPLC – podp. listi pri cvetočih kobulih na višji n.v., nPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na nižji n. v., vPLP – podp. listi pri plodečih kobulih na višji n. v., nSLN - nerazviti pritlični listi na nižji n. v., vSLN - nerazviti prit. l. na višji n. v., nSLR - razviti prit. l. na nižji n.v., vSLR - razviti prit. l. na višji n.v.; n=10.

Rezultati ANOVA testa za vsebnost UV-B absorbirajočih snovi na suho maso; p – vrednost <0,05

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLP | A |
| nPLC | A B |
| vPLC | A B C |
| nSLN | A B C D |
| nSLR | A B C D |
| vSLR | B C D |
| vPLM | B C D |
| vPLP | B C D |
| nPLM | C D |
| vSLN | D |

Priloga E

Rezultati Kruskal – Wallis testa in ANOVA testa za morfološke in biokemijske analize

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za vrednosti specifične listne površine pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| vSLN | A |
| vPLP | A B |
| nPLP | A B |
| vSLR | A B |
| nSLR | A B C |
| vPLM | A B C |
| nPLM | B C |
| nSLN | B C |
| vPLC | B C |
| nPLC | C |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za antociane (merjeno pri 530 nm) na površino pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLM | A |
| nSLN | A |
| vPLP | A B |
| nSLR | A B |
| nPLC | A B |
| vPLC | A B C |
| vSLR | A B C |
| vPLM | B C |
| vSLN | B C |
| nPLP | C |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za klorofil *a* na površino pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLM | A |
| vPLC | A |
| vPLM | A B |
| nSLN | A B |
| vPLP | A B |
| vSLR | A B |
| vSLN | A B |
| nSLR | B |
| nPLP | B |
| nPLC | B |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za klorofil *b* na površino pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLC | A |
| nPLM | A B |
| vSLR | A B |
| vPLC | A B |
| vPLP | A B |
| nPLP | A B |
| nSLN | A B |
| vPLM | A B |
| nSLR | B |
| vSLN | B |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za karotenoide na površino pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLM | A |
| nPLC | A B |
| vPLC | A B C |
| vPLM | A B C |
| vSLR | A B C |
| nPLP | A B C |
| vPLP | B C |
| nSLN | B C |
| vSLN | C |
| nSLR | C |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za UV-A absorbirajoče snovi na površino pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLM | A |
| vPLM | A B |
| nSLN | A B |
| vSLN | A B |
| nPLC | A B C |
| vSLR | B C |
| vPLC | B C |
| vPLP | B C |
| nSLR | B C |
| nPLP | C |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za UV-B absorbirajoče snovi na površino pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLM | A |
| vPLM | A B |
| vSLN | A B |
| nSLN | A B |
| nPLC | A B |
| vPLC | A B C |
| nSLR | B C |
| vSLR | B C |
| vPLP | B C |
| nPLP | C |

Priloga F

Rezultati Kruskal – Wallis testa in ANOVA testa za odbojnost in presevnost listov

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za odbojnost v UV-B spektru (280-319 nm) pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLM | A |
| vSLR | A |
| nSLR | A |
| nPLC | A |
| vPLC | A |
| nPLP | A B |
| vPLM | A B |
| vPLP | B |
| nSLN | B |
| vSLN | B |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za odbojnost v UV-A spektru (320-399 nm) pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nSLR | A |
| vSLR | A |
| nPLM | A |
| nPLC | A B |
| vPLC | A B C |
| nPLP | A B C |
| vPLM | A B C |
| nSLN | B C |
| vPLP | C |
| vSLN | C |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za odbojnost v vijoličnem spektru (400-454 nm) pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLC | A |
| nPLM | A |
| vPLC | A |
| vPLM | A |
| vSLR | A B |
| nPLP | A B |
| nSLR | A B C |
| vPLP | A B C |
| nSLN | B C |
| vSLN | C |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za odbojnost v modrem spektru (455-499 nm) pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLC | A |
| nPLM | A B |
| vPLC | A B |
| nPLP | A B |
| vPLM | A B C |
| vSLR | A B C D |
| nSLR | A B C D |
| vPLP | B C D |
| nSLN | C D |
| vSLN | D |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za odbojnost v zelenem spektru (500-579 nm) pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLP | A |
| nSLR | A B |
| vSLR | A B |
| nPLM | B C |
| nPLC | B C |
| vPLP | B C |
| nSLN | B C |
| vPLC | B C |
| vSLN | C |
| vPLM | C |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za odbojnost v rumenem spektru (580-619 nm) pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLP | A |
| nSLR | A B |
| vSLR | A B C |
| nPLC | B C D |
| nPLM | B C D |
| vPLP | C D |
| nSLN | D |
| vPLC | D |
| vSLN | D |
| vPLM | D |

Rezultati ANOVA testa za odbojnost v rdečem spektru (620-699 nm); p – vrednost <0,05

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| vPLM | A |
| vSLN | A B |
| nSLN | A B |
| vPLC | A B |
| vPLP | B C |
| nPLM | C D |
| nPLC | C D |
| vSLR | D E |
| nSLR | D E |
| nPLP | E |

Rezultati ANOVA testa za odbojnost v NIR spektru (700-820 nm); p – vrednost <0,05

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLC | A |
| vPLM | A B |
| vPLP | A B |
| nSLR | A B |
| vPLC | A B |
| nPLM | A B |
| vSLR | A B |
| nSLN | B |
| vSLN | B C |
| nPLP | C |

Rezultati ANOVA testa za presevnost v UV-B spektru (280-319 nm); p – vrednost <0,05

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nSLR | A |
| nPLC | A |
| vSLN | B |
| nSLN | B |
| nPLM | B |
| vPLM | B C |
| vSLR | B C D |
| vPLP | B C D |
| nPLP | C D |
| vPLC | D |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za presevnost v UV-A spektru (320-399 nm) pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLP | A |
| vPLP | A |
| vSLR | A B |
| vPLC | A B C |
| nSLR | A B C |
| nPLM | B C |
| nPLC | B C |
| vSLN | B C |
| vPLM | B C |
| nSLN | C |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za presevnost v vijoličnem spektru (400-454 nm) pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLP | A |
| vPLP | A B |
| vSLR | A B C |
| nPLM | A B C |
| nSLR | B C D |
| nPLC | B C D |
| vPLC | B C D |
| vPLM | B C D |
| vSLN | C D |
| nSLN | D |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za presevnost v modrem spektru (455-499 nm) pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLP | A |
| vPLP | A B |
| vSLR | A B |
| nSLR | A B |
| nPLM | A B |
| nPLC | A B C |
| vPLC | B C |
| vPLM | B C |
| vSLN | B C |
| nSLN | C |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za presevnost v zelenem spektru (500-579 nm) pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLP | A |
| vSLR | A B |
| nSLR | A B |
| vPLP | A B C |
| nPLM | A B C |
| nPLC | A B C D |
| vSLN | B C D |
| vPLC | B C D |
| vPLM | C D |
| nSLN | D |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za presevnost v rumenem spektru (580-619 nm) pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLP | A |
| vSLR | A B |
| nSLR | A B |
| vPLP | A B C |
| nPLC | A B C |
| nPLM | A B C D |
| vSLN | B C D |
| vPLC | B C D |
| vPLM | C D |
| nSLN | D |

Rezultati Kruskal – Wallis testa z Bonferronijevo korekcijo za presevnost v rdečem spektru (620-699 nm) pri različnih tipih listov pri tevju. Stopnja signifikantnosti 0,05, p-vrednost <0,0001, Bonferroni korigirana stopnja signifikantnosti <0,0011.

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nPLP | A |
| vSLR | A B |
| nSLR | A B |
| vPLP | A B |
| nPLM | A B |
| nPLC | A B |
| vPLC | B C |
| vSLN | B C |
| vPLM | B C |
| nSLN | C |

Rezultati ANOVA testa za presevnost v NIR spektru (700-820 nm); p – vrednost <0,05

| Tip lista | Skupina |
|-----------|---------|
| nSLN | A |
| vSLN | B |
| vPLM | B C |
| nPLC | B C D |
| vPLC | C D |
| nSLR | C D |
| nPLM | D |
| vPLP | D |
| vSLR | D |
| nPLP | D |