

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Anja HOČEVAR

**VPLIV ULTRAVIJOLIČNEGA SEVANJA IN SELENA NA OPTIČNE
LASTNOSTI LISTOV DVEH VRST AJDE**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

**THE EFFECT OF ULTRAVIOLET RADIATION AND SELENIUM
ON OPTICAL PROPERTIES OF LEAVES OF TWO SPECIES OF
BUCKWHEAT**

GRADUATION THESIS

University studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo v laboratoriju Katedre za ekologijo in varstvo okolja Oddelka za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je odobrila predlagano temo diplomskega dela in za mentorico imenovala prof. dr. Alenko Gaberščik, za recenzentko pa prof. dr. Matejo Germ.

Komisija za oceno in zagovor:

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

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

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

Datum zagovora: 19. 9. 2016

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

Anja Hočevar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dd
- DK UDK 581.5:535(043.2)=163.6
- KG optične lastnosti listov/odbojnost/presevnost/tatarska ajda/*Fagopyrum tataricum*/hibridna ajda/*Fagopyrum hybridum*/ultravijolično sevanje/selen/
- AV HOČEVAR, Anja
- SA GABERŠČIK, Alenka (mentor)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
- LI 2016
- IN VPLIV ULTRAVIJOLIČNEGA SEVANJA IN SELENA NA OPTIČNE LASTNOSTI LISTOV DVEH VRST AJDE
- TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
- OP XIV, 91 str., 15 pregl., 17 sl., 12 pril., 167 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Proučevali smo vpliv naravno prisotnega ultravijoličnega sevanja ter dodatka selena na optične lastnosti listov tatarske (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) in hibridne (*Fagopyrum hybridum*) ajde. Namen diplomskega dela je bil ugotoviti, ali in kako oba dejavnika samostojno ter v medsebojni kombinaciji vplivata na izbrane morfološke in biokemijske lastnosti listov ter posledično na optične lastnosti listov omenjenih vrst. Ugotoviti smo želeli tudi, ali se bodo te lastnosti med posameznimi obravnavanji ter med vrstama razlikovale. Morfološka analiza je vključevala debelino lista, kutikule, povrhnjice ter mezofila, gostoto in dolžino listnih rež in trihomov ter specifično listno površino, biokemijska analiza pa vsebnost barvil (klorofila *a* in *b*, karotenoidov, antocianov) in UV-absorbirajočih snovi. Prav tako smo izmerili odbojne in presevne spektre v območju od 280 do 880 nm. Meritve so pokazale, da med vrstama v morfoloških ter biokemijskih lastnostih ni bilo velikih razlik, posledično pa tudi ne v odbojnih in presevnih spektrih. Ultravijolično sevanje ni imelo velikega vpliva na nobeno vrsto, selen pa je na tatarsko ajdo vplival bolj pozitivno, na hibridno pa nekoliko negativno. V razmerah naravno prisotnega ultravijoličnega sevanja je selen pozitivno deloval na obe vrsti in je rastlinam pomagal, da so se lažje spoprijele z vplivom ultravijoličnega sevanja. Bolj je bilo to opazno pri tatarski ajdi. Ugotovili smo tudi, da so fotosintezna barvila vplivala predvsem na vidni del spektra, prav tako so nanj vplivale nekatere morfološke lastnosti. Slednje so vplivale tudi na NIR del spektra. Na UV del spektra so vplivale UV-absorbirajoče snovi in nekatere morfološke lastnosti.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dd
- DC UDC 581.5:535(043.2)=163.6
- CX optical properties of leaves/reflectance/transmittance/tartary buckwheat/*Fagopyrum tataricum*/*Fagopyrum hybridum*/ultraviolet radiation/selenium/
- AU HOČEVAR, Anja
- AA GABERŠČIK, Alenka (supervisor)
- PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology
- PY 2016
- TI THE EFFECT OF ULTRAVIOLET RADIATION AND SELENIUM ON
OPTICAL PROPERTIES OF LEAVES OF TWO SPECIES OF BUCKWHEAT
- DT Graduation Thesis (University studies)
- NO XIV, 91 p., 15 tab., 17 fig., 12 ann., 167 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB Our study focused on the effect of ambient ultraviolet radiation and the addition of selenium on optical properties of leaves of tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) and hybrid buckwheat (*Fagopyrum hybridum*). Our aim was to determine if and how these two factors separately and in combination affect the selected morphological and biochemical properties of leaves and, consequently, the optical properties of leaves of these plants. Furthermore, we wanted to investigate whether these properties vary between treatments and species. The morphological analysis included leaf, cuticle, epidermis and mesophyll thicknesses, density and length of leaf stomata and trichomes and specific leaf area. Biochemical analysis included the content of leaf pigments (chlorophyll *a* and *b*, carotenoids and anthocyanins) and UV-absorbing compounds. Reflectance and transmittance of leaves were measured within the range of 280 to 880 nm. The results have shown no major differences in morphological and biochemical parameters between the two species and we noticed the same trend in reflectance and transmittance spectra. Ultraviolet radiation had little effect on both species, effect of selenium was more positive on tartary buckwheat and slightly negative on hybrid buckwheat. Selenium had a positive effect on both species in combination with ambient ultraviolet radiation and helped plants when dealing with effects of ultraviolet radiation, which was more expressed in tartary buckwheat. Photosynthetic pigments were correlated with visible part of the spectrum, as well as certain morphological parameters, which were also correlated with NIR part of the spectrum. UV part of the spectrum was correlated with UV-absorbing compounds and some morphological parameters.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	IX
KAZALO SLIK	XI
KAZALO PRILOG	XIII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XIV
1 UVOD	1
1.1 NAMEN NALOGE	2
1.2 DELOVNI HIPOTEZI	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 SONČNO SEVANJE	3
2.1.1 Ultravijolično sevanje in ozonska plast	3
2.1.2 Ultravijolično sevanje in rastline	4
2.1.2.1 Oksidativni stres	4
2.1.2.2 Fotoreaktivacija	5
2.2 SELEN	5
2.3 ANATOMSKE IN BIOKEMIJSKE LASTNOSTI LISTOV	6
2.3.1 Anatomske lastnosti listov	6
2.3.1.1 Povrhnjica (epidermis)	7
2.3.1.2 Kutikula	8
2.3.1.3 Mezofil lista	8
2.3.2 Biokemijske lastnosti listov	9
2.3.2.1 Klorofili	9
2.3.2.2 Karotenoidi	10
2.3.2.3 UV-absorbirajoče snovi	11
2.3.2.4 Antociani	11
2.4 OPTIČNE LASTNOSTI LISTOV	12
2.4.1 Odbojnost (reflektanca)	13
2.4.2 Absorpcija	14
2.4.3 Presevnost (transmitanca)	14
2.5 AJDA	15

2.5.1 Opis rastline	15
2.5.2 Pomen ajde v prehrani	16
3 MATERIAL IN METODE	17
3.1 OBRAVNAVANI RASTLINSKI VRSTI IN RAZMERE RASTI.....	17
3.1.1 <i>Fagopyrum tataricum</i> Gaertn.....	17
3.1.2 <i>Fagopyrum hybridum</i>	17
3.2 METODE DELA	18
3.2.1 Meritve odbojnosti in presevnosti	18
3.2.2 Zgradba lista	19
3.2.3 Biokemijske analize	20
3.2.3.1 Klorofili in karotenoidi	20
3.2.3.2 Antociani	21
3.2.3.3 UV-absorbirajoče snovi.....	21
3.2.4 Število ter velikost listnih rež in trihomov	22
3.2.5 Specifična listna površina in vsebnost vode	22
3.3 GRAFIČNI PRIKAZ IN STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV	23
4 REZULTATI.....	25
4.1 MORFOLOŠKE ANALIZE.....	25
4.1.1 Specifična listna površina	26
4.1.2 Debelina lista	27
4.1.3 Debelina gobastega tkiva	28
4.1.4 Dolžina listnih rež	29
4.1.4.1 Dolžina listnih rež na zgornji povrhnjici	29
4.1.4.2 Dolžina listnih rež na spodnji povrhnjici.....	29
4.2 BIOKEMIJSKE ANALIZE.....	30
4.2.1 Klorofili	30
4.2.1.1 Klorofil <i>a</i>	30
4.2.1.2 Klorofil <i>b</i>	31
4.2.2 Karotenoidi	32
4.2.3 Antociani	33
4.2.4 UV-B absorbirajoče snovi.....	34
4.3 ODBOJNOST IN PRESEVNOST	35
4.3.1 Odbojnost	35
4.3.2 Presevnost.....	37

4.4 KORELACIJE MED MORFOLOŠKIMI IN BIOKEMIJSKIMI LASTNOSTMI LISTOV TER OPTIČNIMI LASTNOSTMI LISTOV	39
4.4.1 Povezava med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi ter odbojnim spektrom tatarske ajde.....	39
4.4.2 Povezava med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi ter odbojnim spektrom hibridne ajde	42
4.4.3 Povezava med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi ter presevnim spektrom tatarske ajde.....	45
4.4.4 Povezava med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi ter presevnim spektrom hibridne ajde	47
5 RAZPRAVA.....	51
5.1 VPLIV ULTRAVIJOLIČNEGA SEVANJA IN SELENA NA MORFOLOŠKE IN BIOKEMIJSKE LASTNOSTI LISTOV Tatarske in hibridne ajde.....	51
5.1.1 Vpliv naravno prisotnega ultravijoličnega sevanja.....	51
5.1.2 Vpliv selena	52
5.1.3 Vpliv naravno prisotnega ultravijoličnega sevanja in selena	53
5.1.4 Kristali oksalata.....	54
5.2 ODBOJNI IN PRESEVNI SPEKTRI Tatarske in hibridne ajde pri različnih rastnih razmerah.....	54
5.2.1 Ultravijolično območje	55
5.2.2 Vidno območje	55
5.2.3 Bližnje infrardeče območje (NIR).....	56
5.2.4 Primerjava odbojnosti in presevnosti med ajdama v enakih rastnih razmerah	58
5.3 KORELACIJE MED MORFOLOŠKIMI IN BIOKEMIJSKIMI LASTNOSTMI TER ODBOJNIM SPEKTROM LISTOV Tatarske ajde v različnih rastnih razmerah.....	59
5.3.1 Zmanjšano ultravijolično sevanje in brez dodatka selena.....	59
5.3.2 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in brez dodatka selena.....	60
5.3.3 Zmanjšano ultravijolično sevanje in dodatek selena.....	60
5.3.4 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in dodatek selena.....	61
5.4 KORELACIJE MED MORFOLOŠKIMI IN BIOKEMIJSKIMI LASTNOSTMI TER ODBOJNIM SPEKTROM LISTOV Hibridne ajde v različnih rastnih razmerah.....	61
5.4.1 Zmanjšano ultravijolično sevanje in brez dodatka selena.....	61
5.4.2 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in brez dodatka selena.....	62
5.4.3 Zmanjšano ultravijolično sevanje in dodatek selena.....	63
5.4.4 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in dodatek selena.....	64

5.5 KORELACIJE MED MORFOLOŠKIMI IN BIOKEMIJSKIMI LASTNOSTMI TER PRESEVNIM SPEKTROM LISTOV TATARSKAJDE V RAZLIČNIH RASTNIH RAZMERAH.....	65
5.5.1 Zmanjšano ultravijolično sevanje in brez dodatka selena.....	65
5.5.2 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in brez dodatka selena.....	65
5.5.3 Zmanjšano ultravijolično sevanje in dodatek selena.....	66
5.5.4 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in dodatek selena.....	66
5.6 KORELACIJE MED MORFOLOŠKIMI IN BIOKEMIJSKIMI LASTNOSTMI TER PRESEVNIM SPEKTROM LISTOV HIBRIDNE AJDE V RAZLIČNIH RASTNIH RAZMERAH.....	66
5.6.1 Zmanjšano ultravijolično sevanje in brez dodatka selena.....	66
5.6.2 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in brez dodatka selena.....	67
5.6.3 Zmanjšano ultravijolično sevanje in dodatek selena.....	67
5.6.4 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in dodatek selena.....	68
6 SKLEPI	69
7 POVZETEK.....	71
8 VIRI	73
ZAHVALA	
PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju T_0_0 *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=7.....	39
Preglednica 2: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju T_0_UV; *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=8.....	40
Preglednica 3: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju T_Se_0; *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=8.....	40
Preglednica 4: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju T_Se_UV; *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=8.....	41
Preglednica 5: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju H_0_0; *p ≤ 0,05, n=7.....	42
Preglednica 6: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju H_0_UV; *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=6.....	42
Preglednica 7: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju H_Se_0; *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=8.....	43
Preglednica 8: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju H_Se_UV; *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=8.....	44
Preglednica 9: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji presevnega spektra pri obravnavanju T_0_0; *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=7.....	45

Preglednica 10: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji presevnega spektra pri obravnavanju T_0_UV; *p ≤ 0,05, n=8.....	46
Preglednica 11: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji presevnega spektra pri obravnavanju T_Se_UV; *p ≤ 0,05, n=8.....	46
Preglednica 12: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji presevnega spektra pri obravnavanju H_0_0; *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=7.....	47
Preglednica 13: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji presevnega spektra pri obravnavanju H_0_UV; *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=6.....	48
Preglednica 14: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji presevnega spektra pri obravnavanju H_Se_0; *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=8.....	49
Preglednica 15: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji presevnega spektra pri obravnavanju H_Se_UV; *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=8.....	49

KAZALO SLIK

Slika 1: Prečni prerez lista tatarske ajde (<i>Fagopyrum tataricum</i>) (A) in prečni prerez lista hibridne ajde (<i>Fagopyrum hybridum</i>) (B).	25
Slika 2: Kristali oksalata pri <i>Fagopyrum hybridum</i> (C, D).	25
Slika 3: Listne reže – 100x povečava (E), listne reže – 400x povečava (F).	26
Slika 4: Specifična listna površina (SLA) tatarske in hibridne ajde pri posameznih obravnavanjih.	26
Slika 5: Debelina lista tatarske in hibridne ajde pri posameznih obravnavanjih.	27
Slika 6: Debelina gobastega tkiva tatarske in hibridne ajde pri posameznih obravnavanjih.	28
Slika 7: Dolžina listnih rež na zgornji povrhnjici tatarske in hibridne ajde pri posameznih obravnavanjih.	29
Slika 8: Dolžina listnih rež na spodnji povrhnjici tatarske in hibridne ajde pri posameznih obravnavanjih.	29
Slika 9: Vsebnost klorofila <i>a</i> (mg/cm^2) pri tatarski in hibridni ajdi pri posameznih obravnavanjih.	30
Slika 10: Vsebnost klorofila <i>b</i> (mg/cm^2) pri tatarski in hibridni ajdi pri posameznih obravnavanjih.	31
Slika 11: Vsebnost karotenoidov (mg/cm^2) pri tatarski in hibridni ajdi pri posameznih obravnavanjih.	32
Slika 12: Vsebnost antocianov (rel. e./g) pri tatarski in hibridni ajdi pri posameznih obravnavanjih.	33
Slika 13: Vsebnost UV-B absorbirajočih snovi (rel. e./ cm^2) pri tatarski in hibridni ajdi pri posameznih obravnavanjih.	34
Slika 14: Odbojni spektri listov tatarske ajde pri posameznih obravnavanjih. Podatki so povprečja znotraj 5 nm intervalov.	35
Slika 15: Odbojni spektri listov hibridne ajde pri posameznih obravnavanjih. Podatki so povprečja znotraj 5 nm intervalov.	36
Slika 16: Presevni spektri listov tatarske ajde pri posameznih obravnavanjih. Podatki so povprečja znotraj 5 nm intervalov.	37

Slika 17: Presevni spektri listov hibridne ajde pri posameznih obravnavanjih. Podatki so povprečja znotraj 5 nm intervalov. 38

KAZALO PRILOG

Priloga A1: Morfološke lastnosti listov tatarske ajde

Priloga A2: Morfološke lastnosti listov hibridne ajde

Priloga B1: Biokemijske lastnosti listov tatarske ajde

Priloga B2: Biokemijske lastnosti listov hibridne ajde

Priloga C1: Relativna odbojnost tatarske in hibridne ajde pri znižanem sevanju UV in brez dodatka selena

Priloga C2: Relativna odbojnost tatarske in hibridne ajde pri znižanem sevanju UV in z dodatkom selena

Priloga C3: Relativna odbojnost tatarske in hibridne ajde pri naravno prisotnem sevanju UV in brez dodatka selena

Priloga C4: Relativna odbojnost tatarske in hibridne ajde pri naravno prisotnem sevanju UV in z dodatkom selena

Priloga C5: Relativna presevnost tatarske in hibridne ajde pri znižanem sevanju UV in brez dodatka selena

Priloga C6: Relativna presevnost tatarske in hibridne ajde pri znižanem sevanju UV in z dodatkom selena

Priloga C7: Relativna presevnost tatarske in hibridne ajde pri naravno prisotnem sevanju UV in brez dodatka selena

Priloga C8: Relativna presevnost tatarske in hibridne ajde pri naravno prisotnem sevanju UV in z dodatkom selena

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ANOVA	analiza variance
Ant	antociani
Kar	karotenoidi
Kl <i>a</i> , Kl <i>b</i>	klorofil <i>a</i> , klorofil <i>b</i>
NADH	nikotinamid adenin dinukleotid
NIR	bližnje infrardeče sevanje (700-1400 nm)
PAR	fotosintezno aktivno sevanje
ROS	reaktivne kisikove spojine
Se	selen
SLA	specifična listna površina
UV	ultravijolično sevanje
UV abs	UV-absorbirajoče snovi
UV-A	ultravijolično sevanje A (320-400 nm)
UV-B	ultravijolično sevanje B (280-319 nm)
UV-C	ultravijolično sevanje C (200-280 nm)

1 UVOD

Kot vsi živi organizmi, tudi rastline zaznavajo in se odzivajo na UV valovne dolžine, prisotne v sončni svetlobi. Eden izmed pomembnejših abiotskih dejavnikov je UV-B del sončnega spektra, ki ima lahko pozitivne ali negativne učinke (Hollósy, 2002). Pod vplivom sevanja UV-B se sintetizirajo UV-absorbirajoče snovi, ki rastline ščitijo pred nekaterimi negativnimi vplivi okolja, v večjih količinah pa sevanje UV-B lahko povzroči poškodbe DNA, membran, fotosinteznega aparata in hormonalnega sistema. Vsaka od teh poškodb je neposredno ali posredno povezana s tvorbo reaktivnih kisikovih spojin (Shanker, 2006), ki v normalnih količinah delujejo kot signali za aktiviranje stresnega odgovora in obrambnih poti, njihova okrepljena proizvodnja pa za rastlino lahko predstavlja nevarnost (Mittler, 2002). Tudi UV-A del spektra lahko negativno vpliva na rastline (Stapleton, 1992), a so njegovi negativni učinki manjši. Rastlinam celo pomaga pri preprečevanju poškodb zaradi sevanja UV-B (Sinha in Häder, 2002).

Da bi se rastline izognile škodi, ki bi jo ultravijolično sevanje lahko povzročilo, nanj odgovorijo med drugim z morfološkimi in biokemijskimi spremembami, kot so spremembe povrhnjice, kutikularnega sloja in proizvodnja ter povečanje UV-absorbirajočih snovi (Shanker, 2006). S tem se spremeni tudi svetlobno mikrookolje znotraj listov (Bornman in Vogelmann, 1991), to pa je delno določeno z optičnimi lastnostmi (Vogelmann, 1993). Spektralne lastnosti sevanja, ki se odbije, absorbira ali preseva skozi list, lahko zagotovijo bolj poglobljeno razumevanje odzivov rastlin na rastne razmere in njihovih prilagoditev nanje (Carter in Knapp, 2001).

Ajda postaja vse bolj pomembna rastlina v Evropi. Je zelo primerna za ekološko pridelavo, ima številne pozitivne učinke na zdravje (Bonafaccia in sod., 2003), svoje mesto pa je našla tudi v znanosti (Raspor in Smole Možina, 2015). Ima kratko dobo rasti, ki jo mora v celoti izkoristiti in na vsak stres, ki deluje nanjo, mora odgovoriti z zaščitnimi in popravljivimi mehanizmi (Gaberščik in sod., 2002).

Ena od možnosti za izboljšanje strpnosti rastlin na okoljske obremenitve je povečanje njihove antioksidativne zmogljivosti (Bowler in sod., 1992; Foyer in sod., 1994). Nedavne

raziskave so ugotovile več pozitivnih učinkov selena v rastlinah, med drugim tudi zaščito pred škodljivimi učinki sevanja UV-B (Hartikainen in Xue, 1999). Selen namreč poveča delovanje nekaterih encimov, ki katalizirajo razpad reaktivnih kisikovih spojin in uravnavanje količine le-teh s selenom bi lahko bil ključni mehanizem za boj proti okoljskemu stresu v rastlinah (Feng in sod., 2013).

1.1 NAMEN NALOGE

Namen diplomske naloge je bil ugotoviti, kako ultravijolično sevanje in dodatek selena (v raztopini natrijevega selenata) ter kombinacija obeh dejavnikov vplivajo na izbrane morfološke in biokemijske lastnosti ter posledično na optične lastnosti listov tatarske (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) in hibridne (*Fagopyrum hybridum*) ajde.

1.2 DELOVNI HIPOTEZI

Postavili smo naslednji hipotezi:

1. Povečano ultravijolično sevanje in selen bosta vplivala na optične lastnosti listov obeh vrst ajde.
2. Optične lastnosti obeh vrst ajde se bodo med seboj razlikovale.

2 PREGLED OBJAV

2.1 SONČNO SEVANJE

Sončno sevanje je elektromagnetno valovanje, ki zagotavlja potrebno energijo za življenje na Zemlji (fotoenergetski učinek), deluje kot dražljaj za razvojne procese (fotokibernetični učinek) in občasno tudi kot stresni dejavnik (fotoinhibitorni ali fotodestruktivni učinek). Povprečno le okrog 47 % sončnega sevanja doseže Zemljino površje (Larcher, 2003).

Največji del energije sončnega obsevanja je v pasu vidne ali fotosintezno aktivne svetlobe (400-750 nm) (46 %) in infrardeče (750-24000 nm) svetlobe (46 %), sledi ultravijolični del sevanja (200-400 nm) (7-9 %), preostalega sevanja pa je manj kot 1 % celotne energije (Bertalanič, 2005).

2.1.1 Ultravijolično sevanje in ozonska plast

Ultravijolično sevanje je eden od ključnih dejavnikov, ki so bistveno prispevali k raznolikosti biocenoze Zemlje (Gaberščik in sod., 2015). Tradicionalno je razdeljeno na tri območja valovnih dolžin: sevanje UV-A (315-400 nm) predstavlja večino ultravijoličnega sevanja na zemeljski površini, veliko manj je sevanja UV-B (280-315 nm), sevanje UV-C (200-280 nm) pa v celoti absorbira ozonska plast v stratosferi (Hollósy, 2002).

Brez ozonske plasti življenja, kot ga poznamo na Zemlji, ne bi bilo. Poleg sevanja UV-C absorbira tudi del sevanja UV-B (Rozema in sod., 1997). Predvsem zaradi sproščanja antropogenih polutantov, kot so klorofluorogljikovodiki, se koncentracija ozona v zadnjih desetletjih zmanjšuje (Hegglin in Shepherd, 2009), posledično pa večji delež spektra UV-B doseže površino Zemlje z resnimi posledicami za vse žive organizme (Xiong in Day, 2001; Caldwell in sod., 2007). Od leta 1980 se je količina ozona znižala za 3-6 %, kar pomeni 6-14 % povečanje sevanja UV-B na površini Zemlje (Gaberščik in sod., 2015). Absorpcijski koeficient ozona doseže ničlo pri okoli 330 nm (Robberecht, 1989), zato spremembe v njegovi koncentraciji praktično ne vplivajo na sevanje UV-A (Hollósy, 2002).

2.1.2 Ultravijolično sevanje in rastline

Fotosintezni organizmi potrebujejo sončno svetlobo in so zato neizogibno izpostavljeni ultravijoličnim žarkom. Sevanje UV-A predstavlja približno 6,3 % dohodnega sončnega sevanja in je manj nevaren del ultravijoličnega sevanja. Sevanje UV-B pa je posebnega pomena, saj ta valovna dolžina predstavlja le okoli 1,5 % celotnega spektra (Hollósy, 2002) in pomembno vpliva na morfološke, fiziološke in biokemične procese rastlin (Ros in Tevini, 1995; Allen in sod., 1998; Kakani in sod., 2003; Caldwell in sod., 2007; Hectors in sod., 2007). To je sprožilo zanimanje za možne pozitivne učinke ter blaženje negativnih učinkov tega sevanja na rast in razvoj rastlin ter osnovne mehanizme zaščite (Kataria in sod., 2014). Pod vplivom sevanja UV-B se poveča proizvodnja UV-absorbirajočih snovi, ki ščitijo rastlino pred sušo, mrazom, poškodbami, okužbami ter še nekaterimi drugimi vplivi okolja. Rastline, ki rastejo pod ultravijoličnimi žarki, so prav tako koristne za ljudi, saj vsebujejo ogromno zaščitnih snovi, npr. antioksidante in vitamin C (Mackerness, 2000). Sevanje UV-B pa rastlinam lahko povzroči tudi različne škodljive učinke (Hollósy, 2002).

2.1.2.1 Oksidativni stres

Reaktivne kisikove spojine (ROS), npr. superoksidni anion, hidroksilni radikal, vodikov peroksid, prosti kisik, itd., so produkt celične presnove rastlin. V normalnih koncentracijah delujejo kot signalne molekule, povečane koncentracije pa so za rastline izjemno škodljive (Sharma in sod., 2012).

Različne okoljske obremenitve, med njimi tudi sevanje UV-B, povečajo proizvodnjo teh spojin in ko njihova stopnja preseže mehanizme rastlinske obrambe, je celica v stanju oksidativnega stresa. V tem stanju lahko pride do peroksidacije lipidov, oksidacije proteinov, poškodb nukleinskih kislin, inhibicije encimov ter aktivacije programirane poti celične smrti (Sharma in sod., 2012). Da bi uničile presežek reaktivnih kisikovih spojin in zmanjšale oksidativne poškodbe v stresnih razmerah, so rastline razvile številne antioksidativne obrambne sisteme, vključno z aktivacijo delovanja encimov (Singh in sod.,

2009), npr. superoksid dismutaze, askorbinske kislinske peroksidaze, glutation reduktaze in peroksidaz (Kataria in sod., 2014).

2.1.2.2 Fotoreaktivacija

Kljub številnim zaščitnim mehanizmom rastlin se DNA sevanju ne more popolnoma izogniti (Sinha in Häder, 2002). Absorpcija fotonov sevanja UV-B sproži nastanek ciklobutan pirimidinskih dimerov in v manjši meri pirimidin-(6,4)-fotoproduktov (Britt, 1996), ki zavirajo prepisovanje in podvajanje DNA in na koncu povzročijo smrt celice (Sancar, 1994). Pomembno vlogo pri preprečevanju teh poškodb imata sevanje UV-A ter modra svetloba. Energijo teh valovnih dolžin absorbira encim fotoliza, ki se specifično veže na ciklobutan pirimidinske dimere in pirimidin-(6,4)-fotoprodukte in s tem prepreči škodljive učinke sevanja UV-B (Sinha in Häder, 2002). Temu procesu pravimo fotoreaktivacija (Jansen in sod., 1998) in je eden najpomembnejših zaščitnih in popravljalnih mehanizmov v celicah (Sinha in Häder, 2002).

2.2 SELEN

Selen je esencialen element za ljudi, živali, mikroorganizme in nekatere druge evkarionte (Ellis in Salt, 2003). Esencialnost selena za višje rastline še ni natančno raziskana (Germ in sod., 2007), a uravnavanje količine reaktivnih kisikovih spojin s tem mineralom bi lahko bil ključni mehanizem za boj proti okoljskemu stresu v rastlinah. Selen namreč lahko neposredno ali posredno preko uravnavanja količine antioksidantov nadzoruje proizvodnjo in dušenje reaktivnih kisikovih spojin (Feng in sod., 2013), s tem pa lahko poveča strpnost rastlin na s sevanjem UV povzročen oksidativni stres, zavira procese, povezane s staranjem in omili stres zaradi visoke svetlobe in tudi suše. Djanaguiraman in sod. (2005) so v svoji raziskavi ugotovili, da je bil antioksidativni učinek selena povezan s povečanjem aktivnosti superoksid dismutaze in glutation peroksidaze. Selen tudi izboljša zbiranje fotonov svetlobe in s tem dostopnost energije za rastline (Breznik in sod., 2005b).

Visoke koncentracije selena pa so za rastline lahko tudi škodljive (Germ in sod., 2007). Presežek selena namreč v rastlinah lahko povzroči še dodatno proizvodnjo in kopičenje reaktivnih kisikovih spojin, kar naj bi bila delna posledica neravnovesja v koncentraciji glutationa, tiolov, feredoksinov in/ali NADH, ki imajo lahko bistveno vlogo pri njegovi presnovi. Če količina teh snovi ne zadostuje za istočasno vključitev selena v rastline in dušenje reaktivnih kisikovih spojin, lahko dodatek selena vodi do povečane koncentracije reaktivnih kisikovih spojin in s tem je rastlinam povzročena še dodatna škoda (Feng in sod., 2013). V nekaterih primerih pa selen nima bistvenega vpliva na rastline (Breznik in sod., 2004).

Učinek selena na rastline, tudi v kombinaciji z drugimi dejavniki, kot so sevanje UV-B in suša, proučujejo tudi na Inštitutu Jožef Štefan, Biotehniški fakulteti in na Nacionalnem inštitutu za biologijo (Smrkolj in Stibilj, 2004; Breznik in sod., 2005a,b; Germ in Osvald, 2005; Germ in sod., 2005; Smrkolj in sod., 2006a; Smrkolj in sod., 2006b, Germ in Stibilj, 2007).

2.3 ANATOMSKE IN BIOKEMIJSKE LASTNOSTI LISTOV

Listi so bistvena enota rastline v interakciji s sončnim sevanjem (Yoshimura in sod., 2010), interakcija s posameznimi plastmi celic pa je odvisna od njihovih anatomskih in biokemijskih lastnosti (Liew in sod., 2008).

2.3.1 Anatomske lastnosti listov

Anatomija lista je visoko specializirana za absorpcijo svetlobe (Taiz, 2015) in na zgradbo zelenega lista pri vseh semenkah izjemno vpliva jakost osvetljenosti, prav tako pa tudi vrsta svetlobe, ki ji je list med razvojem izpostavljen (Dermastia, 2007). Rastline so tako razvile sposobnost spreminjanja morfologije listov na načine, ki jim omogočajo, da se izognejo posledicam abiotskih skrajnosti ali jih ublažijo. Takšni mehanizmi vključujejo spremembe v površini, orientaciji in zvijanju lista, trihomih ter voščeni kutikuli (Taiz, 2015).

Čeprav se listi morfološko in anatomsko razlikujejo, imajo veliko skupnih značilnosti (Beck, 2005).

2.3.1.1 Povrhnjica (epidermis)

Povrhnjica je najbolj zunanja plast primarnih rastlinskih organov, njena primarna naloga pa je nadzor nad vstopanjem in izstopanjem vode v rastlino in iz nje. Pri večini listov je sestavljena iz celic, ki so prosojne za vidno svetlobo in imajo plankonveksno obliko. Zaradi teh dveh lastnosti so celice povrhnjice nekakšne celične leče, ki lahko svetlobo zbirajo in usmerjajo. Rastline, ki rastejo v okoljih s prevelikim sevanjem, s posebnimi prilagoditvami povrhnjice zadržijo precejšen del svetlobe neželenih valovnih dolžin, ki bi drugače vstopila v list (Dermastia, 2007). Epidermalne celice listov, ki rastejo pod močno svetlobo, so debelejšje od tistih, ki rastejo v senci (Smith, 2010).

Med celicami ni medceličnih prostorov, edine odprtine so reže, ki omogočajo ogljikovemu dioksidu, ki je bistven substrat za fotosintezo, vstop v globlje ležeča fotosintezna tkiva. Frekvenca pojavljanja rež se zelo spreminja, odvisna je tudi od razmer okolja, v katerih rastlina uspeva. Ob povečanem sončnem sevanju se gostota listnih rež poveča, kar naj bi bilo povezano s povečano transpiracijo, to pa pomaga pri hlajenju lista (Dermastia, 2007).

Trihomi so enocelični ali večcelični podaljški povrhnjice poganjka. Rastlino ščitijo pred škodljivci in napadi patogenov, zmanjšajo izgubo vode in povečajo strpnost na abiotski stres (Taiz, 2015). Listi, izpostavljeni močni svetlobi, imajo pogosto številne trihome (Dermastia, 2007) in gosto nameščeni trihomi na površini listov ohlajajo liste s tem, da povečujejo odboj svetlobe. Take prilagoditve lahko zmanjšajo absorpcijo svetlobe za več kot 60 %, s tem pa se tudi zmanjša pregrevanje in druge težave, povezane z absorpcijo prevelike količine sončne energije. Trihomi odbijajo tudi vidno svetlobo, ki je potrebna za fotosintezo, zato so listi z veliko trihomi slabost v hladnejših spomladanskih mesecih (Taiz, 2015).

2.3.1.2 Kutikula

Kutikula prekriva zunanje stene povrhnjice. Ta voskasta plast je ena glavnih prilagoditev rastlin na življenje na kopnem in ščiti rastlino pred prevelikim izgubljanjem vode, delno pa tudi pred žuželkami ter patogenimi glivami in bakterijami, ki nimajo encimov za razgradnjo kutina, ki je glavna sestavina kutikule. Prav tako odbija presežke sončnega sevanja in tako ščiti spodnje rastlinske plasti (Dermastia, 2007). Zelo odsevni, voskasti listi so lahko selektivna prednost rastlin, ki rastejo v okoljih z močnim sevanjem (Thomas in Barber, 1974). Listi, izpostavljeni močni svetlobi, imajo debelejšo kutikulo (Dermastia, 2007) in povečan odboj svetlobe lahko delno pripišemo tudi temu (Grant in sod., 1993; Barnes in Cardoso-Vilhena, 1996).

2.3.1.3 Mezofil lista

Najbolj aktivno fotosintezno tkivo višjih rastlin je mezofil listov. Je pretežno parenhimatično in ima veliko kloroplastov, ki vsebujejo klorofile, specializirana zelena barvila za absorpcijo svetlobe (Taiz, 2015).

V listih številnih kritosemenk je mezofil razdeljen v zgornji del – palisadni mezofil (stebričasto tkivo) in spodnji del – gobasti mezofil (gobasto tkivo), njuna količina in razporeditev sta povezani z uravnavanjem svetlobe in CO₂, tako da je fotosinteza kar se da učinkovita. Prvi je pri večini zelenih listov tik pod zgornjo povrhnjico, sestavljen je iz ene ali več plasti podolgovatih, cevastih celic, usmerjenih pravokotno na povrhnjico. Taka orientacija in zgradba je prilagojena optimalni fotosintezi, in sicer izboljša prodiranje svetlobe, vir energije za proces fotosinteze. Število slojev palisadnega mezofila je pogosto povezano z jakostjo svetlobe – večja kot je svetlobna jakost, v kateri rastlina raste, večje je število slojev. Pri takih listih tudi spodnje plasti dobijo dovolj svetlobe za uspešno fotosintezo (Beck, 2005; Dermastia, 2007). Na račun podaljšanja palisadnih celic in nastanka dodatnih plasti palisadnega mezofila, se v takih razmerah razvijajo debelejši listi (Smith, 2010).

Gobasti mezofil se nahaja med palisadnim mezofilom in spodnjo povrhnjico. Sestavljen je iz manjših celic z manj kloroplasti, 50-80 % njegovega volumna pa zaseda zračni prostor (Woolley, 1971). Je nujen za učinkovito izmenjavo plinov v procesu fotosinteze in dihanja (Taiz, 2015). Zaradi njegove prisotnosti je list tudi bolj gibljiv (Dermastia, 2007). Gobasti mezofil svetlobo razprši, kar poveča njeno absorpcijo, v listih, izpostavljenih povečanemu sončnemu sevanju, pa lahko manjka (Beck, 2005).

2.3.2 Biokemijske lastnosti listov

Energijo sončne svetlobe rastline zaznavajo z absorpcijo preko rastlinskih barvil (Smith, 2010). Naravna barvila in sorodne fitokemikalije so sestavni del strategij rastlin za preživetje, med drugim imajo zaščitno vlogo tudi pred sevanjem UV-B (Lila, 2004). Slednja lastnost je bila domnevno glavna pridobitev rastlin, da so se razvile in naselile kopensko okolje (Jorgensen, 1994). Ohraniti morajo ravnovesje med tem, da absorbirajo dovolj svetlobe za fotosintezo, pri čemer pa morajo preprečiti oksidativne poškodbe, ki bi jih povzročila prevelika količina svetlobe (Knox in Dodge, 1985).

2.3.2.1 Klorofili

Najpomembnejša in najbolj razširjena naravna barvila so klorofili. Te kompleksne molekule se nahajajo v listih in drugih delih večine rastlin ter imajo ključno vlogo v procesu fotosinteze (Timberlake in Henry, 1986). Kontrolirajo količino sončnega sevanja, ki ga list absorbira, s tem pa nadzorujejo fotosintezni potencial, posledično pa tudi primarno proizvodnjo (Filella in sod., 1995; Moran in sod., 2000).

Klorofili višjih rastlin so sestavljeni iz klorofila *a*, ki je glavno barvilo in klorofila *b*, ki je dodatno barvilo. Pojavljata se približno v razmerju $a:b = 3:1$ (Lichtenthaler, 1987). Rastne razmere in dejavniki okolja lahko to razmerje spreminjajo, zato meritve teh barvil lahko zagotovijo koristen vpogled v interakcije med rastlino in okoljem (Richardson in sod., 2002) ter natančno, posredno oceno stanja rastlin (Moran in sod., 2000). Pri rastlinah, izpostavljenih soncu in močni svetlobi, je to razmerje večje kot pri senčnih rastlinah

(Lichtenthaler, 1987), na splošno pa se količina klorofilov pod vplivom stresnih razmer zmanjša (Fang in sod., 1998). Rastline, ki ohranijo visoko stopnjo klorofilov med izpostavljenostjo sevanju UV-B, so bolj verjetno UV-strpne (Bornman in Vogelmann, 1991; Greenberg in sod., 1997).

Obe barvili imata dva absorpcijska vrhova v vidnem delu spektra in sicer med 400 in 480 nm (modro območje) in med 600 in 700 nm (rdeče območje) (Smith, 2010). Absorpcija klorofilov v zelenem in rumenem delu spektra je višja kot pri 700 nm, a relativno šibka v primerjavi z glavnima absorpcijskima pasovoma v modrem in rdečem delu spektra (Rabideau in sod., 1946; Moss in Loomis, 1952; Lichtenthaler, 1987). To je razlog, zakaj so listi zelene barve. Zelene valovne dolžine se močneje odbijejo ali pa presevajo skozi list (Smith, 2010).

2.3.2.2 Karotenoidi

Karotenoidi so druga velika skupina rastlinskih barvil, sestavljena iz karotenov in ksantofilov. V fotosinteznih tkivih je foto-zaščita pred škodljivimi kisikovimi radikali njihova najpomembnejša vloga (Bartley in Scolnik, 1995) in brez njih bi bila fotosinteza, s tem pa tudi življenje v kisikovi atmosferi nemogoče (Britton, 1995). Če se energija, ki jo ob izpostavljenosti svetlobi absorbirajo klorofili, ne more shraniti, lahko poškoduje fotosintezno membrano. Da bi preprečile te škodljive učinke, so rastline razvile mehanizem za odvajanje odvečne svetlobne energije, t.i. ksantofilni cikel. Ta obsega tri karotenoide (Taiz, 2015) in proizvodnja enega od njih, zeaksantina, je bistvenega pomena pri oblikovanju strpnosti rastlin na stresne razmere (Young, 1991).

Karotenoidi imajo tudi vlogo zbiranja svetlobe za fotosintezo. Absorbirajo svetlobo v modro-zelenem delu spektra (400-600 nm), absorbirana energija pa se lahko prenese na klorofile. Karotenoidi tako služijo kot dodatna barvila v območju spektra, ki ni pokrit s klorofili (Bartley in Scolnik, 1995) in razširijo učinkovito absorpcijo svetlobe za fotosintezo (Young, 1991). Glede na njihovo zgradbo, ima večina karotenoidov absorpcijski maksimum pri valovni dolžini okoli 450 nm (Stahl in Sies, 2003).

2.3.2.3 UV-absorbirajoče snovi

Najpogostejši in najbolj učinkovit zaščitni mehanizem rastlin pred potencialno škodljivim sevanjem pa je biosinteza UV-absorbirajočih spojin (Hahlbrock in Scheel, 1989). Ti sekundarni metaboliti, zlasti fenolne spojine, flavonoidi in hidroksicinamatni estri (Frohnmeier in Staiger, 2003) so igrali pomembno vlogo v evoluciji kopenskih rastlin, ne samo kot UV filtri, ampak tudi v mnogih drugih ekoloških razmerjih (Rozema in sod., 1997). Zagotavljajo tudi zaščito pred okužbami in drugimi stresnimi razmerami (pozebo, visokimi temperaturami in sušo), varujejo rastline pred rastlinojedci ter izboljšajo možnost preživetja rastlin v tleh, obremenjenih s strupenimi kovinami (Gaberščik in sod., 2015). Prav tako lovijo proste radikale (Rice-Evans in sod., 1997), kar lahko nudi dodatno zaščito celicam, ki kopičijo te spojine (Jansen in sod., 1998).

Znanih je več kot 4000 različnih flavonoidov, ki se pojavljajo v rastlinah (Harborne in Baxter, 1999). Prisotni so lahko tako v povrhnjici kot tudi v listnih dlačicah v relativno visoki koncentraciji (Harborne, 1986; Stafford, 1991; Day, 1993) in lahko znatno spremenijo optične lastnosti rastlinskih organov (Gaberščik in sod., 2015). Poleg sevanja UV-A, prestrezajo in absorbirajo tudi sevanje UV-B in preprečujejo, da bi le-to doseglo mezofil ter vplivalo na fotosintezo (Caldwell in sod., 1983a). Okoljski sprožilec proizvodnje fenolnih spojin ni le ultravijolično sevanje, ampak tudi močna jakost vidne svetlobe (Gaberščik in sod., 2015).

Vlogo UV-absorbirajočih snovi pri zaščiti pred ultravijoličnim sevanjem je potrdilo več študij, med drugim Landry in sod. (1995), Booi-James in sod. (2000) ter Bieza in Lois (2001).

2.3.2.4 Antociani

V razred flavonoidov spadajo tudi antociani. So naravna vodotopna rastlinska barvila, široko razširjena v naravi in zastopana z več kot 500 različnimi zgradbami (Santos-Buelga, 2014).

Tudi antociani sodelujejo v mehanizmih zaščite rastlin pred biotskimi in okoljskimi stresnimi dejavniki (Petroni in Tonelli, 2011). Običajno se kopičijo v ali tik pod plastmi povrhnjice mladih, rastočih listov kot odgovor na pomanjkanje hranil ali izpostavljenost sevanju UV svetlobe ter delujejo kot antioksidanti (Close in Beadle, 2003). Kopičijo se tudi v mezofilu lista (McClure, 1975) in v trihomih (Ntefidou in Manetas, 1996).

Antociani absorbirajo svetlobo med 400 in 600 nm (Pietrini in Massacci, 1998; Close in sod., 2001). Imajo nižjo UV absorbanco kot brezbarvni flavonoidi in enostavnejši fenoli (Caldwell in sod., 1983b; Teramura, 1983; Landry in sod., 1995). Tvorba antocianov je zaščitni odgovor na sevanje UV-B (Beggs in Wellmann, 1985), a se ti pigmenti pogosto pojavljajo v zelo nizkih koncentracijah v primerjavi z drugimi UV-B absorbirajočimi spojinami. Zahtevajo dolgo izpostavljenost UV-B svetlobi, da se izgradijo (Brandt in sod., 1995), zaščito pa visoke koncentracije antocianov lahko zagotovijo v celicah in tkivih, v katerih nastopajo kot glavne UV-absorbirajoče spojine (Takahashi in sod., 1991; Stapleton in Walbot, 1994; Burger in Edwards, 1996).

2.4 OPTIČNE LASTNOSTI LISTOV

Optične lastnosti listov so temeljnega pomena za znanje, kako kopenske rastline interagirajo s škodljivim UV sončnim sevanjem (Yoshimura in sod., 2010), hkrati pa zagotovijo bolj poglobljeno razumevanje fizioloških odzivov rastlin na rastne razmere in njihovih prilagoditev na okolje (Carter in Knapp, 2001). Čeprav je svetloba eden izmed najbolj pomembnih okoljskih parametrov, je tudi eden izmed najbolj težko izmerljivih, vsaj na nivoju tkiva (Vogelmann, 1993).

Sončno sevanje, ki doseže list, se odbije, absorbira ali pa preseva skozi list, optične lastnosti se torej nanašajo na odbojnost (reflektanco), absorpcijo in presevnost (transmitanco) (Larcher, 2003).

2.4.1 Odbojnost (reflektanca)

Del svetlobe, ki zadane list, se odbije, značilnosti odbite svetlobe pa so odvisne od njenega izvora. Ločimo površinsko (zrcalno) in razpršeno (difuzno) odbojnost (Vogelmann, 1993).

Površinsko odbojnost lista določa svetloba, ki se zrcalno odbije od njegove površine, nanjo pa vplivajo površinske lastnosti lista. Običajno se spektralno ne spremeni, je pogosto polarizirana (Vogelmann, 1993) in zaradi tega mora biti ločena od razpršene svetlobe (Grant, 1987). Ta svetloba nikoli ne vstopi v celice lista in barvila ter vsebnost vode ne vplivajo nanjo (Sims in Gamon, 2002). Površinski odboj se lahko poveča z gosto pokritostjo s trihomi ali voski (Larcher, 2003). S tem rastline znižajo količino svetlobe, ki jo list absorbira ter toplotno obremenitev, posledično pa lahko zmanjšajo izgubo vode v razmerah povečanega sevanja (Vogelmann, 1993). Trihomi povečajo odboj v vidnem območju spektra, njihov učinek v bližnjem infrardečem (NIR) območju spektra pa je spremenljiv (Grant, 1987; Slaton in sod., 2001). Voski povečajo površinski odboj v vidnem in NIR območju spektra, čeprav je učinek pogosto največji pri krajših valovnih dolžinah zaradi Rayleighovega sipanja (Clark in Lister, 1975; Reicosky in Hanover, 1978).

Svetloba, ki se ne odbije od površine, pa vstopi v list in ima zapleteno ter nepredvidljivo pot zaradi notranjega odboja in sipanja, to pa je povezano predvsem z razlikami v notranji zgradbi listov (Sims in Gamon, 2002). Rastlinsko tkivo, sestavljeno iz celic in medceličnih prostorov, je učinkovit razpršilec, saj se lomni količnik celic in zraka zelo razlikuje (Terashima in Saeki, 1983). Svetloba, ki izvira iz notranjosti lista, ni polarizirana in njena spektralna sestava je močno odvisna tudi od absorpcijskih značilnosti listnih barvil. Svetloba, usmerjena nazaj skozi prvo plast lista, se izmeri kot razpršena oz. difuzna odbojnost (Grant, 1987).

V vidnem območju sevanja listi odbijejo povprečno 6-10 % dohodnega sevanja. Zelena svetloba se najmočneje odbije (10-20 %), oranžna in rdeča pa najmanj (3-10 %) (Larcher, 2003). V tem območju je odbojnost določena predvsem s fotosintezniimi barvili (Gates in sod., 1965). V infrardečem območju se odbije 70 % vpadnega sevanja, odbojnost v tem

delu je odvisna predvsem od zgradbe lista (Gates in sod., 1965), ultravijolične svetlobe pa se odbije okoli 5 % (Yoshimura in sod., 2010).

V odsotnosti absorpcije, odbita svetloba izvira iz zgornje in spodnje površine lista. Če pa list absorbira praktično vso svetlobo, pa merjena odbojnost izvira le iz zgornje površine (Vogelmann, 1993).

2.4.2 Absorpcija

Ko svetloba vstopi v notranjost lista, se oslabi z absorpcijo ali sipanjem (Vogelmann, 1993).

Večina sevanja, ki prodre skozi list, se absorbira. Na svoji poti skozi list se intenziteta sevanja z vsako doseženo plastjo lista eksponentno zmanjšuje. V odvisnosti od zgradbe lista in vsebnosti kloroplastov v celicah mezofila, listi na splošno absorbirajo 60-80 % vidne svetlobe. Absorpcija vidne svetlobe je odvisna predvsem od barvil v kloroplastih, zato spektralne krivulje absorpcije listov kažejo maksimum, ki sovpada z absorpcijskim maksimumom klorofilov in karotenoidov (Larcher, 2003).

Posamezen zelen list absorbira 95 % vpadnega sevanja UV-B. Sevanje UV-B v glavnem absorbirajo kutikula in zunanje stene ter vakuole povrhnjice in absorpcija je v veliki meri odvisna od koncentracije UV-absorbirajočih snovi. Le 5-10 % sevanja UV-B doseže zgornjo celično plast mezofila (Day, 1993; Larcher, 2003).

Infrardeče sevanje do valovne dolžine 2000 nm se le malo absorbira (Larcher, 2003).

2.4.3 Presevnost (transmitanca)

Presevnost listov je odvisna od njihove zgradbe in debeline. Mehki, prilagodljivi listi presevajo 10-20 % sončnega sevanja, zelo tanki listi presevajo kar 40 %, medtem ko debeli, grobi listi ne presevajo skoraj nobenega sevanja (manj kot 3 %).

Presevnost je najvišja pri valovnih pasovih, kjer je visoka tudi odbojnost, torej v zelenem in še posebej v bližnjem infrardečem območju, zato ima sevanje, filtrirano skozi liste, predvsem valovne dolžine pri 500 nm in nad 800 nm (Larcher, 2003). Višje rastline nimajo v bistvu nič presevnosti v celem UV območju, ne glede na rastlinske vrste in sezonske spremembe (Yoshimura in sod., 2010).

2.5 AJDA

2.5.1 Opis rastline

Ajda je nadvse zanimiva poljščina, ki v zadnjem času zelo pridobiva na popularnosti (Tašner in Lipovnik, 2015). Izvira iz jugozahodne Kitajske, v Sloveniji je bila prvič omenjena leta 1426, verjetno pa je k nam prišla nekaj let prej (Kreft, 1995). Je resnično velik potencial slovenskega kmetijstva, predelovalne industrije in turizma, svoje mesto pa je našla tudi v znanosti. Prve raziskave v naših laboratorijih so se po publiciranih virih začele na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani, v zadnjih tridesetih letih pa se je raziskovanje te perspektivne rastline v Sloveniji razširilo tudi na nekatere druge fakultete in inštitute (Raspor in Smole Možina, 2015).

Ajda je dvokaličnica in botanično spada v družino dresnovk (Polygonaceae) in rod *Polygonum*. Najpogostejši vrsti v pridelavi in uporabi sta navadna ajda (*Fagopyrum esculentum* Moench) in tatarska ajda (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.). Prva je zastopana z 90 % celotne svetovne proizvodnje ajde, medtem ko je tatarska ajda prisotna v glavnem v planinskih predelih, predvsem na severni polobli (Kreft, 1995; Modic in Furlan, 2015; Sakač, 2015).

Z medvrstnim križanjem znanstveniki poskušajo ustvariti nove, izboljšane sorte in zaradi velike genetske raznolikosti je rod *Fagopyrum* za to zelo primeren (Lesjak, 2011). Z medvrstnim križanjem je nastala tudi vrsta *Fagopyrum hybridum*, ki smo jo poleg tatarske ajde uporabili v naših raziskavah. Je hibrid med tatarsko ajdo in *Fagopyrum giganteum*.

2.5.2 Pomen ajde v prehrani

Ajdo odlikuje zelo dobra hranilna vrednost. Med drugim je bogata s polifenolnimi snovmi, med katere spada tudi rutin, katerega vsebnost je odvisna od količine ultravijoličnega sevanja, ki mu je ajda izpostavljena med rastjo (Kreft in sod., 2002). Rutin v našem telesu deluje kot antioksidant. Poleg tega ima še številne druge farmakološke učinke, kot so protialergijski, protivnetni in antibakterijski (Sakač in sod., 2012; Mandić in sod., 2013). Prav tako znižuje krvni pritisk, zmanjšuje prepustnost krvnih žil in tveganje za nastanek ateroskleroze, ima pa tudi zelo pozitiven učinek pri zdravljenju edemov (de Oliveira in sod., 2006).

Ajda je vsekakor eno izmed živil prihodnosti, ne le zaradi vrste pozitivnih učinkov, ki jih ima na zdravje, temveč tudi glede ohranjanja zdravih tal, vode in zraka (Mičetić-Turk in sod., 2015). Zaradi enostavnosti pridelave je absolutno primerna rastlina za ekološko pridelavo in ni potrebe po konvencionalni oz. integrirani pridelavi (Bavec F. in Bavec N., 2015).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 OBRAVNAVANI RASTLINSKI VRSTI IN RAZMERE RASTI

V okviru diplomske naloge smo proučevali vpliv ultravijoličnega sevanja in foliarnega gnojenja s selenom v obliki natrijevega selenata (10 mg Se/L) na liste tatarske ajde (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) in hibridne ajde (*Fagopyrum hybridum*). Proučevanih kombinacij obeh dejavnikov in obeh vrst je bilo osem in so bile sledeče:

T Se+ UV+ (8 vzorcev)	H Se+ UV+ (8 vzorcev)
T Se+ UV- (8 vzorcev)	H Se+ UV- (8 vzorcev)
T Se- UV+ (8 vzorcev; kontrola)	H Se- UV+ (6 vzorcev; kontrola)
T Se- UV- (7 vzorcev)	H Se- UV- (7 vzorcev)

Oznake pomenijo naslednje: tatarska ajda (T), hibridna ajda (H), dodatek selena (Se+), brez dodatka selena (Se-), naravno sevanje UV (UV+), za 90 % znižano sevanje UV (UV-). Obravnavanje Se- UV+ je predstavljalo naravne razmere.

3.1.1 *Fagopyrum tataricum* Gaertn.

Naše sorte ajde imajo sorazmerno majhne liste. Tatarska ajda je precej podobna navadni ajdi. Listi so srčasto puščičasti, pogosto širši kot dolgi, stebela in listi so bolj izrazito zeleni kot pri navadni ajdi. Cvetno odevalo je zeleno, cvetni listi so majhni, sorazmerno ozki, cvetovi so enakovratni. Semena so rjava, svetlo rjava do rjavo siva ali nekoliko zelenkasta. Oblika semen je triroba, semena niso krilata, njihovi robovi so zaokroženi in poudarjeni. Semena so približno enake velikosti in oblike kot semena navadne ajde (Kreft, 1995).

3.1.2 *Fagopyrum hybridum*

Hibrid ajde *Fagopyrum hybridum* je takson, pred kratkim pridobljen v Rusiji z medvrstnim križanjem *F. tataricum* in *F. giganteum*, z namenom pridobiti vrsto ajde z največjim

pridelkom in strpnostjo na stres (Fesenko I.N. in Fesenko N.N., 2010). V njem so združeni najbolj produktivni potomci F10 generacije. Ker je hibrid ajde nov takson, zelo malo vemo o njegovih lastnostih ter odzivih na različne stresne razmere (Golob in sod., 2016).

3.2 METODE DELA

Proučevani rastlinski vrsti sta poleti 2012 rastle na polju Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete v Ljubljani. Nekatere rastline so rastle pod strešniki z UV filtrom (Quinn XT strešniki, v območju 280-400 nm), ki so prepuščali približno 90 % vidnega in približno 10 % UV dela spektra, nekatere pa pod strešniki, v katerih ni bilo UV filtra in ti so prepuščali oba dela spektra za približno 90 % (Quinn cast UVT strešniki). Pripravo materiala za naše meritve smo izvedli v prvih dneh po odstranitvi listov z rastlin konec avgusta 2012, meritve pa v sledečih mesecih. Med tem časom smo imeli material ustrezno shranjen in zaščiten. Delo je potekalo v laboratoriju Katedre za botaniko Oddelka za biologijo.

Meritve smo izvedli na 31 vzorcih tatarske ajde in 29 vzorcih hibridne ajde.

3.2.1 Meritve odbojnosti in presevnosti

Za meritve odbojnosti in presevnosti smo uporabili prenosni spektrometer Jaz Modular Optical Sensing Suite (Ocean Optics, Inc., Dunedin, USA). Preko optičnega kabla QP600-1-SR-BX (Ocean Optics, Inc., Dunedin, FL, USA) smo ga povezali z integracijsko sfero ISP-30-6-R (Ocean Optics, Inc., FL, USA). Kot svetlobni vir, s katerim smo osvetljevali liste, smo uporabili UV-VIS-NIR (DH-2000, Ocean Optics, Inc., Florida, USA). Z USB kablom smo spektrometer povezali z računalnikom. Napravo smo pred meritvami kalibrirali. Izmerili smo referenčni spekter, tako da smo svetlobni žarek usmerili na belo referenčno ploščico (Spectralon®, Labsphere, North Sutton, USA). S tem smo spektrometer kalibrirali na 100 % odbojnost. Nato smo izmerili še temni spekter, tako da smo izključili svetlobni vir. S tem smo napravo kalibrirali na 100 % presevnost.

Odbojne in presevne spektre smo izmerili na sveže odstranjenih listih z rastlin, torej isti dan, kot so bile rastline nabrane. Najprej smo jih temeljito očistili in posušili. Meritve smo izvedli na osrednjem delu listne ploskve, pri tem smo se izogibali glavni žili. Merili smo valovne dolžine med 280 in 880 nm z ločljivostjo 0,3 nm.

Odbojne spektre smo izmerili tako, da smo integracijsko sfero položili pravokotno na zgornjo stran lista in ga osvetlili s svetlobnim virom. Od lista odbita svetloba je prešla v integracijsko sfero in preko optičnega kabla v spektrometer. Odbojni spekter vzorca je bil nato preračunan kot razmerje med odbojnostjo vzorca in odbojnostjo bele referenčne ploščice.

Pri merjenju presevnosti smo prav tako zgornjo stran lista osvetljevali s svetlobnim virom, na spodnjo stran lista pa smo namestili integracijsko sfero. Ta je zajela vso, skozi list prepuščeno svetlobo, ki je nato prešla preko optičnega kabla v spektrometer. Presevni spekter vzorca je bil nato preračunan kot razmerje med presevnostjo vzorca in temnim referenčnim spektrom.

Po opravljenih meritvah smo liste položili v banjico, jih pokrili z vlažnimi papirnatimi brisačkami ter jih shranili v hladilnik do naslednje uporabe.

3.2.2 Zgradba lista

Iz prečnih prereзов sveže nabranih listov smo v prvih dneh laboratorijskih raziskav naredili poltrajne mikroskopske preparate. Prečne prereze smo s pomočjo stiropora in britvice naredili na sredini posameznega lista, na delu, kjer smo predhodno opravili meritve odbojnosti in presevnosti. Za vsak list smo naredili nekaj prečnih prereзов, jih položili na objektno stekelce, na katerega smo predhodno kanili kapljico laktoglicerola in vse skupaj pokrili s krovnim stekelcem. S pomočjo svetlobnega mikroskopa Olympus CX41, povezanega z digitalno kamero Olympus XC30 in računalniškim programom CellSens (Olympus, Japan) smo pod 100x povečavo izmerili naslednje parametre: debelino lista, debelino zgornje in spodnje povrhnjice ter debelino stebričastega in gobastega tkiva.

Kutikulo smo izmerili pri 400x povečavi. Opravili smo 5 meritev vseh parametrov na različnih delih posameznega preparata.

3.2.3 Biokemijske analize

Z biokemijskimi analizami smo določili vsebnost klorofilov, karotenoidov, antocianov in UV-absorbirajočih snovi. S pomočjo luknjovrta s premerom 8 mm smo naluknjali po 6 krožcev vsakega lista. Do uporabe smo jih zamrznili.

3.2.3.1 Klorofili in karotenoidi

Vsebnost klorofilov *a* in *b* ter karotenoidov smo določili po metodi Lichtenthalerja in Buschmanna (2001a, 2001b). Vzorce (po 1 krožec s premerom 8 mm na en list) smo strli v terilnici, ekstrahirali v 5 mL acetona (100 % (v/v)) in jih centrifugirali (4000 rpm (vrtljajev na minuto), 4 °C, 4 min) v centrifugirkah za klorofil. Ekstraktom smo odčitali prostornino in izmerili absorbanco z UV/VIS spektrofotometrom (Lambda 25, Perkin-Elmer, Norwalk, CT, USA) pri valovnih dolžinah 470, 645 in 662 nm. Vsebnosti klorofilov (Kl *a* in Kl *b*) ter karotenoidov (Kar) smo izrazili na suho maso in površino vzorca.

$$Kl\ a\ [mg\ g^{-1}\ ss] = c_a \cdot V / ss = (11,24 \cdot E_{662} - 2,04 \cdot E_{645}) \cdot V / ss \quad \dots (1)$$

$$Kl\ a\ [mg\ cm^{-2}] = c_a \cdot V / P = (11,24 \cdot E_{662} - 2,04 \cdot E_{645}) \cdot V / P \quad \dots (2)$$

$$Kl\ b\ [mg\ g^{-1}\ ss] = c_b \cdot V / ss = (20,13 \cdot E_{645} - 4,19 \cdot E_{662}) \cdot V / ss \quad \dots (3)$$

$$Kl\ b\ [mg\ cm^{-2}] = c_b \cdot V / P = (20,13 \cdot E_{645} - 4,19 \cdot E_{662}) \cdot V / P \quad \dots (4)$$

$$Kar\ [mg\ g^{-1}\ ss] = (1000 \cdot E_{470} - 1,9 \cdot c_a - 63,14 \cdot c_b) \cdot V / ss / 214 \quad \dots (5)$$

$$Kar\ [mg\ cm^{-2}] = (1000 \cdot E_{470} - 1,9 \cdot c_a - 63,14 \cdot c_b) \cdot V / P / 214 \quad \dots (6)$$

$c_{a,b}$ = koncentracija klorofila *a* oziroma klorofila *b*

V = volumen ekstrakta [mL]

ss = suha masa [g]

P = površina vzorca [cm²]

E = absorpcija pri dani valovni dolžini

3.2.3.2 Antociani

Vsebnost antocianov smo določili po metodi Khareja in Guruprasada (1993). Vzorce (po 1 krožec s premerom 8 mm na en list) smo strli v terilnici, ekstrahirali v 5 mL ekstrakcijskega medija (metanol : HCl (37 %) = 99 : 1 (v/v)) in jih centrifugirali (4000 rpm, 4 °C, 4 min). Ekstraktom smo odčitali prostornino, nato pa smo vzorce shranili v temi za 24 ur pri 3-5 °C. Ekstinkcije smo izmerili z UV/VIS spektrofotometrom pri valovni dolžini 530 nm. Vsebnosti antocianov (Ant) smo preračunali glede na suho maso in površino ter jih izrazili v relativnih enotah.

$$Ant \text{ (relativna enota)} = E_{530} \cdot V \cdot ss^{-1}; E_{530} \cdot V \cdot P^{-1} \quad \dots (7)$$

E₅₃₀ = ekstinkcija pri valovni dolžini 530 nm

V = prostornina ekstrakta [mL]

ss = suha masa [g]

P = površina vzorca [cm²]

3.2.3.3 UV-absorbirajoče snovi

Pri določanju vsebnosti UV-B in UV-A absorbirajočih snovi smo se ravnali po metodi, ki jo je postavil Caldwell (1968). Vzorce smo strli v terilnici, nato smo jih ekstrahirali v 5 mL ekstrakcijskega medija (metanol : destilirana voda : HCl (37 %) = 79 : 20 : 1 (v/v)). Sledila je 20 minutna inkubacija, nato pa smo vzorce centrifugirali (4000 rpm, 10 °C, 10 min). Odčitali smo prostornine ekstraktov ter s spektrofotometrom določili ekstinkcije pri valovnih dolžinah od 280 do 400 nm. Pri tem smo uporabili kvarčne kivete. Vsebnosti UV-absorbirajočih snovi smo nato izračunali kot integral ekstinkcijskih vrednosti od 280 do 319 nm (za UV-B absorbirajoče snovi) ter od 320 do 400 nm (za UV-A absorbirajoče

snovi). Vsebnost UV-absorbirajočih snovi smo izrazili v relativnih enotah glede na površino in suho maso vzorca.

$$UV\ abs\ (relativna\ enota) = I \cdot V^{-1} \cdot ss^{-1}; I \cdot V^{-1} \cdot P^{-1} \quad \dots (8)$$

I = integral ekstinkcijskih vrednosti v intervalu 280-319 nm (UV-B absorbirajoče snovi) ter 320-400 nm (UV-A absorbirajoče snovi)

V = prostornina ekstrakta [mL]

ss = suha masa [g]

P = površina vzorca [cm²]

3.2.4 Število ter velikost listnih rež in trihomov

Te meritve smo izvedli tako, da smo delček vsakega lista na zgornji in spodnji povrhnjici premazali s tanko plastjo prozornega laka in počakali, da se posuši. Nato smo to mesto prelepili s prozornim lepilnim trakom. Previdno smo ga odstranili in ga prilepili na objektno stekelce. Tako smo dobili preparate z odtisom zgornje in spodnje povrhnjice, hkrati pa tudi odtis rež in trihomov. Preparate smo si ogledali na 100x povečavi. Na obeh povrhnjicah vsakega preparata smo si izbrali 5 različnih vidnih polj, na njih določili število rež in izmerili dolžine desetih rež [μm]. Ob prisotnosti trihomov, smo na posameznih vidnih poljih prešteli tudi te in prav tako izmerili njihovo dolžino [μm]. Na nekaterih preparatih se odtis trihomov ni dobro videl, zato nismo mogli izmeriti dejanske dolžine. Iz dobljenih podatkov smo izračunali gostoto rež in trihomov na obeh povrhnjicah.

3.2.5 Specifična listna površina in vsebnost vode

Po tem, ko smo pripravili listni material za predhodne meritve, smo preostali del vsakega svežega lista razdelili na 3 približno enako velike dele (ali 2, če nam je ostalo manj materiala), ki smo jim z areametrom izmerili površino, jih stehtali in dali sušiti v sušilnik na 105 °C za 24 ur. Po tem času smo jih še enkrat stehtali in jim določili še suho maso. Iz teh podatkov smo izračunali specifično listno površino (SLA), ki je količnik med površino

vzorca in njegovo suho maso [$\text{cm}^2 \text{mg}^{-1}$]. Izračunali smo tudi vsebnost vode in sicer kot razliko med svežo in suho maso listov, iz tega pa delež vode [%], ki smo ga izračunali kot količnik med vsebnostjo vode in svežo maso vzorca in rezultat pomnožili s 100.

3.3 GRAFIČNI PRIKAZ IN STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV

Izmerjene meritve v laboratoriju smo vnesli in uredili v programu Microsoft Office Excel 2007. Izračunali smo povprečja in standardne deviacije morfoloških in biokemijskih lastnosti listov (Priloge A1, A2, B1 in B2). Prav tako smo v tem programu grafično prikazali odbojne in presevne spektre vseh obravnavanj obeh vrst ajde (Slike 14-17).

Statistične analize smo opravili v programu PAST (PAleontological STatistics, Version 3.12). Normalnost porazdelitev spremenljivk (morfoloških in biokemijskih lastnosti) pri posameznih obravnavanjih smo testirali s Shapiro-Wilkovim testom. Za primerjavo obravnavanj na podlagi normalno porazdeljenih spremenljivk smo uporabili analizo variance (ANOVA) in Tukeyev post-hoc test, pri spremenljivkah, kjer normalnost porazdelitve ni bila potrjena, pa smo za primerjavo uporabili Mann-Whitneyev test. Pri tem smo ugotavljali, ali se obravnavanja medsebojno statistično značilno razlikujejo na podlagi primerjanih spremenljivk. Prav tako smo s tema dvema testoma primerjali posamezna obravnavanja na podlagi integralnih vrednosti odbojnih in presevnih spektrov obeh vrst ajde v posameznih spektralnih pasovih. Analizirali smo tudi korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter optičnimi lastnostmi listov pri obeh vrstah. Za to smo uporabili Pearsonov koeficient korelacije ($p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$) (Preglednice 1-15).

Rezultate smo grafično prikazali s pomočjo programa Statgraphics Centurion XVII. Podatke smo predstavili v obliki okvirjev z ročaji (angl. box plot), ki prikazujejo mediano, pogojni minimum in pogojni maksimum, kvartile ter vrednosti, ki bistveno odstopajo od večine ostalih vrednosti (osamelce) (Slike 4-13). Oznake za posamezna obravnavanja pomenijo naslednje:

T_0_0 = tatarska ajda, brez dodatka selena, znižano sevanje UV (n=7)

H_0_0 = hibridna ajda, brez dodatka selena, znižano sevanje UV (n=7)

T_Se_0 = tatarska ajda, dodatek selena, znižano sevanje UV (n=8)

H_Se_0 = hibridna ajda, dodatek selena, znižano sevanje UV (n=8)

T_0_UV (kontrola) = tatarska ajda, brez dodatka selena, naravno sevanje UV (n=8)

H_0_UV (kontrola) = hibridna ajda, brez dodatka selena, naravno sevanje UV (n=6)

T_Se_UV = tatarska ajda, dodatek selena, naravno sevanje UV (n=8)

H_Se_UV = hibridna ajda, dodatek selena, naravno sevanje UV (n=8)

4 REZULTATI

4.1 MORFOLOŠKE ANALIZE

A



B



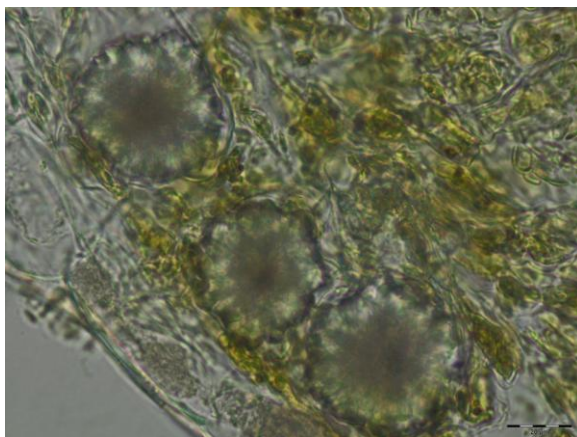
Slika 1: Prečni prerez lista tatarske ajde (*Fagopyrum tataricum*) (A) in prečni prerez lista hibridne ajde (*Fagopyrum hybridum*) (B).

Slika 1 prikazuje prečni prerez lista tatarske in hibridne ajde. List sestavljajo zgornja in spodnja kutikula, zgornja in spodnja povrhnjica, mezofil lista pa je razdeljen na stebričasto in gobasto tkivo. Vidne so tudi žile in kristali oksalata.

C



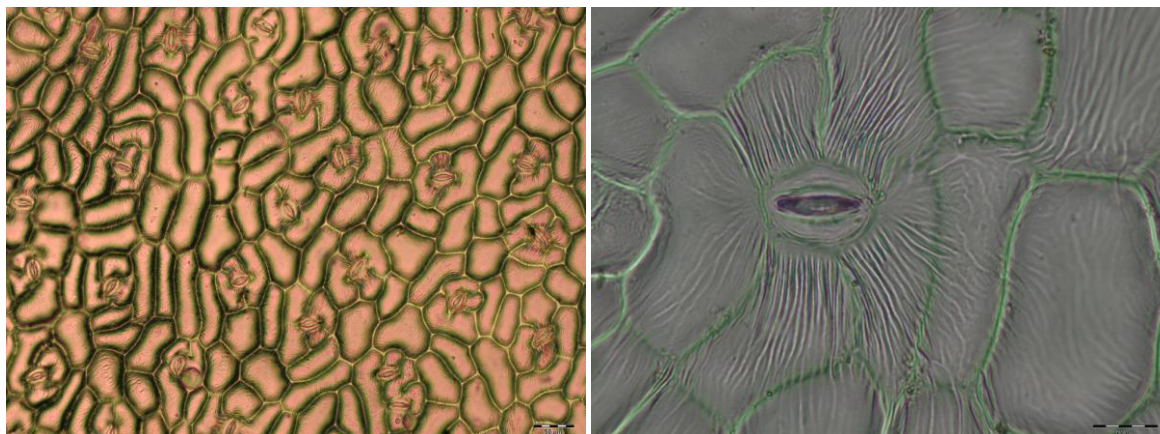
D



Slika 2: Kristali oksalata pri *Fagopyrum hybridum* (C, D).

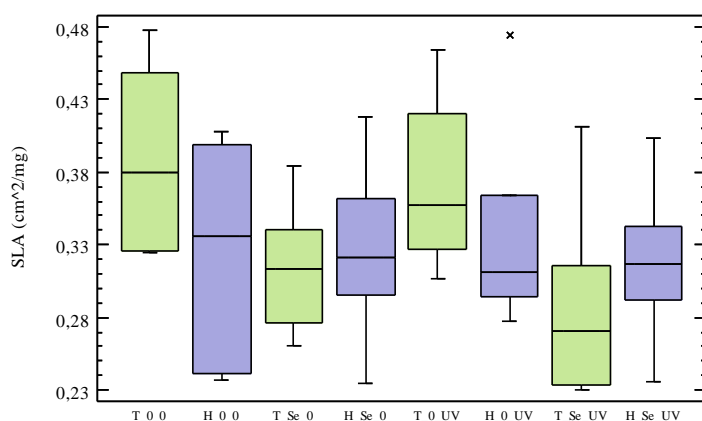
E

F



Slika 3: Listne reže – 100x povečava (E), listne reže – 400x povečava (F).

4.1.1 Specifična listna površina

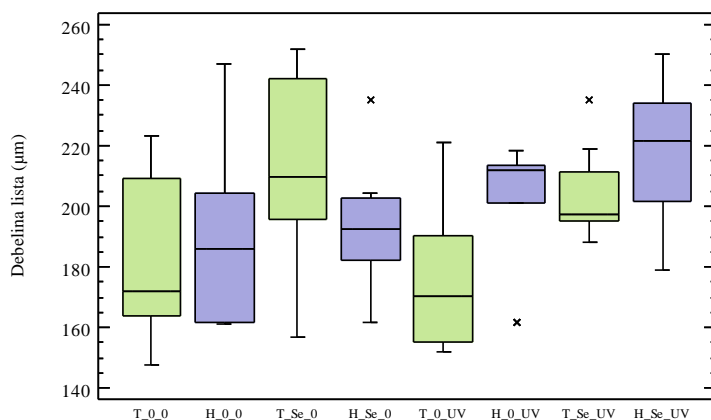


Slika 4: Specifična listna površina (SLA) tatarske in hibridne ajde pri posameznih obravnavanjih.

Okvirji z ročaji prikazujejo mediano, pogojni minimum in pogojni maksimum, kvartile ter vrednosti, ki bistveno odstopajo od večine ostalih vrednosti (osamelce; x). Tatarska ajda (T), hibridna ajda (H).

Razlika v SLA med posameznimi obravnavanji hibridne ajde ni bila statistično značilno različna, pri tatarski ajdi pa je bila SLA listov statistično značilno manjša pri naravno prisotnem sevanju UV ter dodatku selena (T_Se_UV) v primerjavi z listi tiste, ki je rastla ob zmanjšanjem sevanju UV ter brez dodatka selena (T_0_0) ($p = 0,018$; Tukeyev test, $p \leq 0,05$) (Slika 4, Prilogi A1 in A2).

4.1.2 Debelina lista

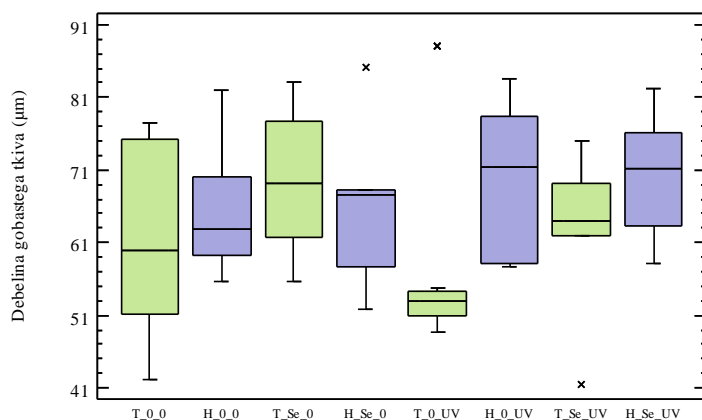


Slika 5: Debelina lista tatarske in hibridne ajde pri posameznih obravnavanjih.

Okvirji z ročaji prikazujejo mediano, pogojni minimum in pogojni maksimum, kvartile ter vrednosti, ki bistveno odstopajo od večine ostalih vrednosti (osamelce; x). Tatarska ajda (T), hibridna ajda (H).

Razlika v debelini lista med posameznimi obravnavanji hibridne ajde ni bila statistično značilno različna. Pri tatarski ajdi je bila debelina lista statistično značilno večja v razmerah znižanega sevanja UV in dodatka selena (T_Se_0) v primerjavi z debelino lista tatarske ajde, ki je rastle v razmerah naravno prisotnega sevanja UV in brez dodatka selena (T_0_UV) ($p = 0,031$). Prav tako je bila debelina lista glede na slednje obravnavanje statistično značilno večja v razmerah naravno prisotnega sevanja UV ter dodatka selena (T_Se_UV) ($p = 0,014$) (Mann-Whitneyev test, $p \leq 0,05$) (Slika 5, Prilogi A1 in A2).

4.1.3 Debelina gobastega tkiva



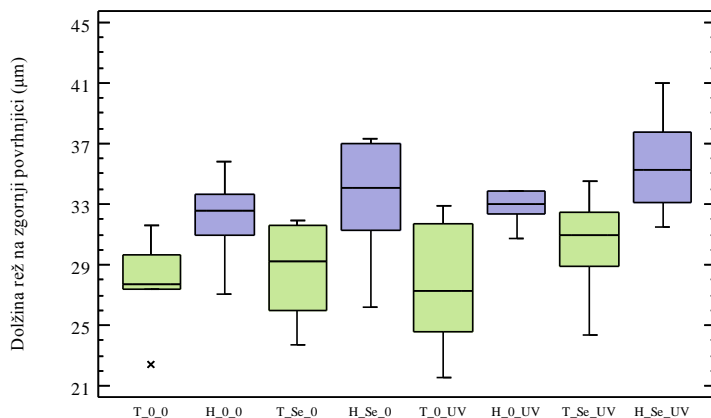
Slika 6: Debelina gobastega tkiva tatarske in hibridne ajde pri posameznih obravnavanjih.

Okvirji z ročaji prikazujejo mediano, pogojni minimum in pogojni maksimum, kvartile ter vrednosti, ki bistveno odstopajo od večine ostalih vrednosti (osamelce; x). Tatarska ajda (T), hibridna ajda (H).

Razlika v debelini gobastega tkiva med posameznimi obravnavanji hibridne ajde ni bila statistično značilno različna. Pri tatarski ajdi je bila debelina gobastega tkiva statistično značilno večja v razmerah znižanega sevanja UV in dodatka selena (T_Se_0) v primerjavi z debelino gobastega tkiva tatarske ajde, ki je rastla ob naravno prisotnem sevanju UV in brez dodatka selena (T_0_UV) ($p = 0,014$). V razmerah naravno prisotnega sevanja UV in brez dodatka selena (T_0_UV in H_0_UV) je bila debelina gobastega tkiva statistično značilno večja pri hibridni ajdi ($p = 0,024$) (Mann-Whitneyev test, $p \leq 0,05$) (Slika 6, Prilogi A1 in A2).

4.1.4 Dolžina listnih rež

4.1.4.1 Dolžina listnih rež na zgornji povrhnjici

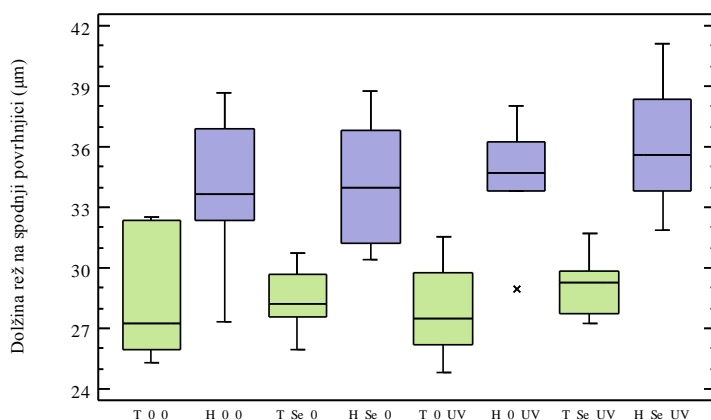


Slika 7: Dolžina listnih rež na zgornji povrhnjici tatarske in hibridne ajde pri posameznih obravnavanjih.

Okvirji z ročaji prikazujejo mediano, pogojni minimum in pogojni maksimum, kvartile ter vrednosti, ki bistveno odstopajo od večine ostalih vrednosti (osamelce; x). Tatarska ajda (T), hibridna ajda (H).

Hibridna ajda je imela nekoliko večjo dolžino listnih rež na zgornji povrhnjici od tatarske ajde, a razlika ni bila statistično značilna. Prav tako ni bilo statistično značilnih razlik med obravnavanji znotraj posamezne vrste (Tukeyev test, $p \leq 0,05$) (Slika 7, Prilogi A1 in A2).

4.1.4.2 Dolžina listnih rež na spodnji povrhnjici



Slika 8: Dolžina listnih rež na spodnji povrhnjici tatarske in hibridne ajde pri posameznih obravnavanjih.

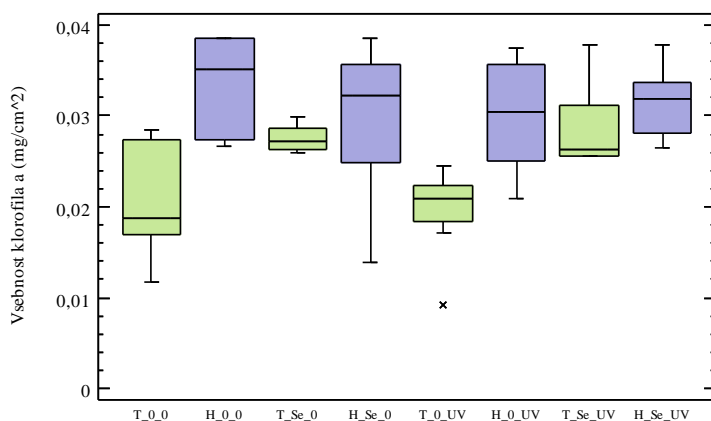
Okvirji z ročaji prikazujejo mediano, pogojni minimum in pogojni maksimum, kvartile ter vrednosti, ki bistveno odstopajo od večine ostalih vrednosti (osamelce; x). Tatarska ajda (T), hibridna ajda (H).

Dolžina rež na spodnji povrhnjici je bila v enakih razmerah pri hibridni ajdi statistično značilno večja od dolžine rež pri tatarski ajdi pri vseh obravnavanjih. Med obravnavanji znotraj posamezne vrste ni bilo statistično značilnih razlik (Tukeyev test, $p \leq 0,05$) (Slika 8, Prilogi A1 in A2).

4.2 BIOKEMIJSKE ANALIZE

4.2.1 Klorofili

4.2.1.1 Klorofil *a*

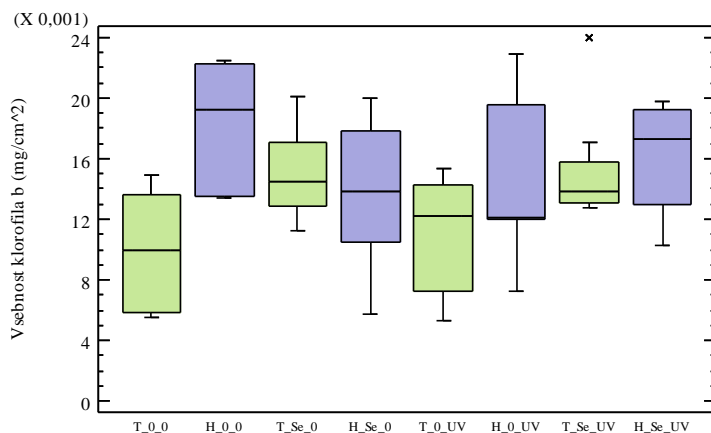


Slika 9: Vsebnost klorofila *a* (mg/cm^2) pri tatarski in hibridni ajdi pri posameznih obravnavanjih.

Okvirji z ročaji prikazujejo mediano, pogojni minimum in pogojni maksimum, kvartile ter vrednosti, ki bistveno odstopajo od večine ostalih vrednosti (osamelce; x). Tatarska ajda (T), hibridna ajda (H).

Vsebnost klorofila *a* se med obravnavanji hibridne ajde ni statistično značilno razlikovala, pri tatarski ajdi pa se je statistično značilno razlikovala pri naslednjih parih obravnavanj: T_0_0 in T_Se_0 ($p = 0,043$), T_0_0 in T_Se_UV ($p = 0,043$), T_Se_0 in T_0_UV ($p = 0,0009$) ter T_0_UV in T_Se_UV ($p = 0,0009$). Statistično značilne razlike so bile med ajdama tudi v enakih razmerah: T_0_0 in H_0_0 ($p = 0,011$) ter T_0_UV in H_0_UV ($p = 0,012$) (Mann-Whitneyev test, $p \leq 0,05$) (Slika 9, Prilogi B1 in B2).

4.2.1.2 Klorofil *b*

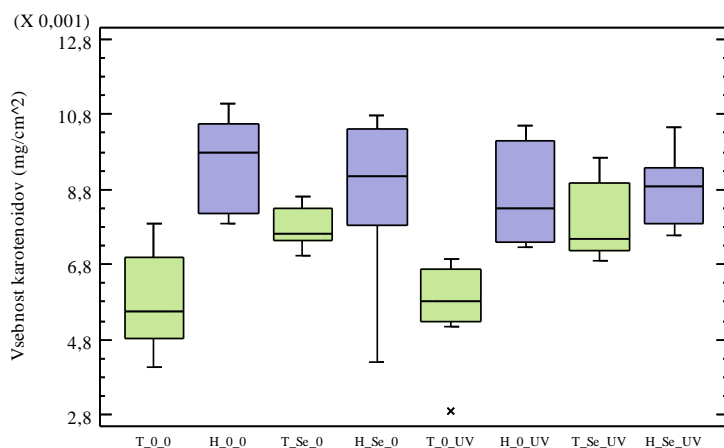


Slika 10: Vsebnost klorofila *b* (mg/cm²) pri tatarski in hibridni ajdi pri posameznih obravnavanjih.

Okvirji z ročaji prikazujejo mediano, pogojni minimum in pogojni maksimum, kvartile ter vrednosti, ki bistveno odstopajo od večine ostalih vrednosti (osamelce; x). Tatarska ajda (T), hibridna ajda (H).

Vsebnost klorofila *b* pri tatarski ajdi je bila statistično značilno večja ob dodatku selena (T_Se_0) kot brez njega (T_0_0) ($p = 0,018$), prav tako v kombinaciji z naravno prisotnim sevanjem UV (T_0_0 in T_Se_UV) ($p = 0,043$). Vsebnost je bila ob znižanem sevanju UV in brez dodatka selena (T_0_0 in H_0_0) statistično značilno večja pri hibridni ajdi ($p = 0,012$) (Mann-Whitneyev test, $p \leq 0,05$) (Slika 10, Prilogi B1 in B2).

4.2.2 Karotenoidi

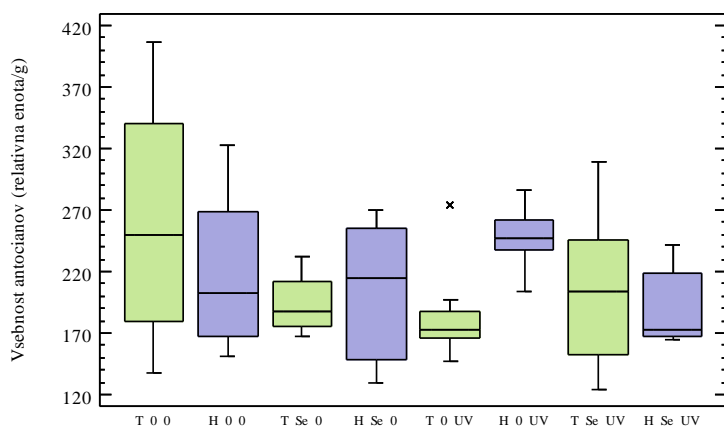


Slika 11: Vsebnost karotenoidov (mg/cm^2) pri tatarski in hibridni ajdi pri posameznih obravnavanjih.

Okvirji z ročaji prikazujejo mediano, pogojni minimum in pogojni maksimum, kvartile ter vrednosti, ki bistveno odstopajo od večine ostalih vrednosti (osamelce; x). Tatarska ajda (T), hibridna ajda (H).

Vsebnost karotenoidov je bila v enakih razmerah statistično značilno večja pri hibridni ajdi v primerjavi s tatarsko pri obravnavanjih T_0_0 in H_0_0 ($p = 0,0002$) ter T_0_UV in H_0_UV ($p = 0,002$). Vsebnost je bila statistično značilno večja pri tatarski ajdi v razmerah naravno prisotnega sevanja UV v kombinaciji z dodatkom selena (T_Se_UV) v primerjavi z vsebnostjo pri obravnavanju brez dodatka selena (T_0_UV) ($p = 0,033$). Med obravnavanji znotraj hibridne ajde ni bilo statistično značilnih razlik (Tukeyev test, $p \leq 0,05$) (Slika 11, Prilogi B1 in B2).

4.2.3 Antociani

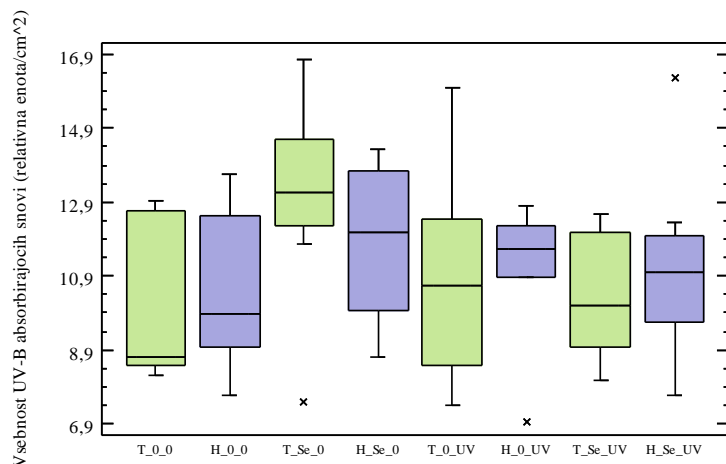


Slika 12: Vsebnost antocianov (rel. e./g) pri tatarski in hibridni ajdi pri posameznih obravnavanjih.

Okvirji z ročaji prikazujejo mediano, pogojni minimum in pogojni maksimum, kvartile ter vrednosti, ki bistveno odstopajo od večine ostalih vrednosti (osamelce; x). Tatarska ajda (T), hibridna ajda (H).

Vsebnost antocianov je bila v razmerah naravno prisotnega sevanja UV ter brez dodatka selena statistično značilno večja pri hibridni ajdi (H_0_UV) v primerjavi s tatarsko (T_0_UV) ($p = 0,017$). Statistično značilno manjša je bila vsebnost pri hibridni ajdi v razmerah naravno prisotnega sevanja in dodatka selena (H_Se_UV) kot pa brez dodatka selena (H_0_UV) ($p = 0,017$) (Mann-Whitneyev test, $p \leq 0,05$) (Slika 12, Prilogi B1 in B2).

4.2.4 UV-B absorbirajoče snovi



Slika 13: Vsebnost UV-B absorbirajočih snovi (rel. e./cm²) pri tatarski in hibridni ajdi pri posameznih obravnavanjih.

Okvirji z ročaji prikazujejo mediano, pogojni minimum in pogojni maksimum, kvartile ter vrednosti, ki bistveno odstopajo od večine ostalih vrednosti (osamelce; x). Tatarska ajda (T), hibridna ajda (H).

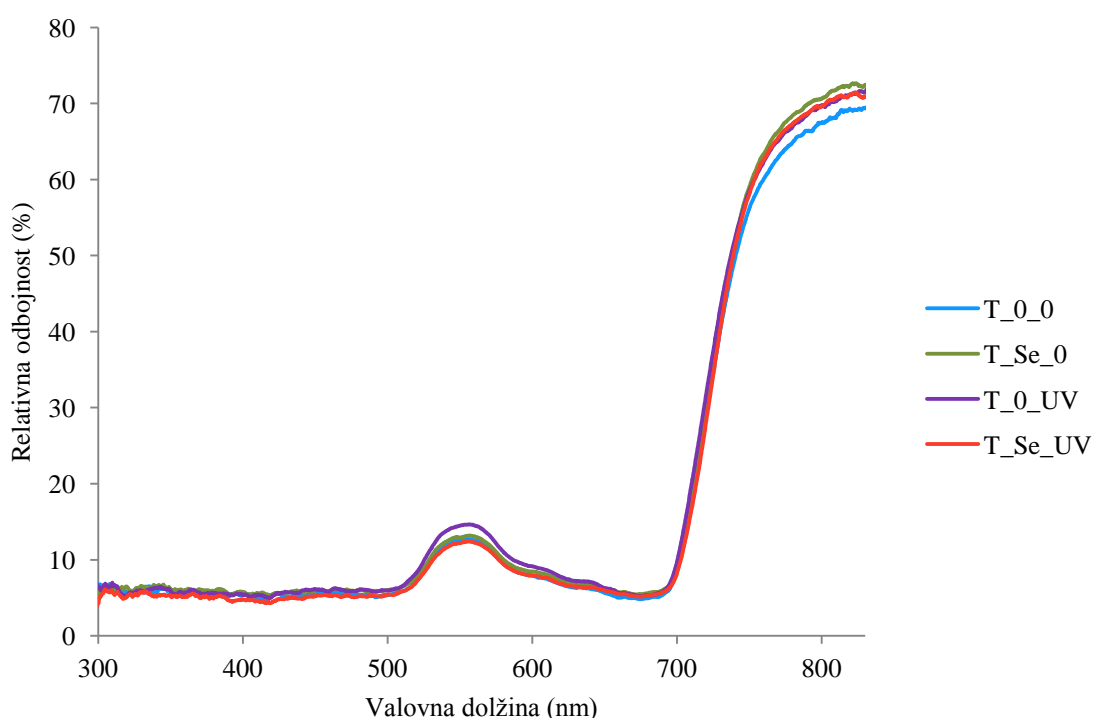
Vsebnost UV-B absorbirajočih snovi pri tatarski ajdi je bila v razmerah znižanega sevanja UV ter dodatka selena (T_Se_0) statistično značilno večja kot pri znižanem sevanju UV ter brez dodatka selena (T_0_0) ($p = 0,043$), prav tako je bila nižja ob naravno prisotnem sevanju UV ter dodatku selena (T_Se_UV) v primerjavi s T_Se_0 ($p = 0,031$) (Mann-Whitneyev test, $p \leq 0,05$) (Slika 13, Prilogi B1 in B2).

V vsebnosti in deležu vode, debelini zgornje in spodnje kutikule, zgornje in spodnje povrhnjice, debelini stebričastega tkiva, gostoti rež in trihomov na zgornji in spodnji povrhnjici, vsebnosti klorofila *a* (mg/g), klorofila *b* (mg/g), karotenoidov (mg/g), antocianov (rel. e./cm²), UV-B absorbirajočih snovi (rel. e./g) ter UV-A absorbirajočih snovi (rel. e./cm² in rel. e./g) med posameznimi obravnavanji znotraj tatarske in hibridne ajde ter med obema vrstama v enakih razmerah ni bilo statistično značilnih razlik ali pa so bile komaj opazne (Priloge A1, A2, B1 in B2).

4.3 ODBOJNOST IN PRESEVNOST

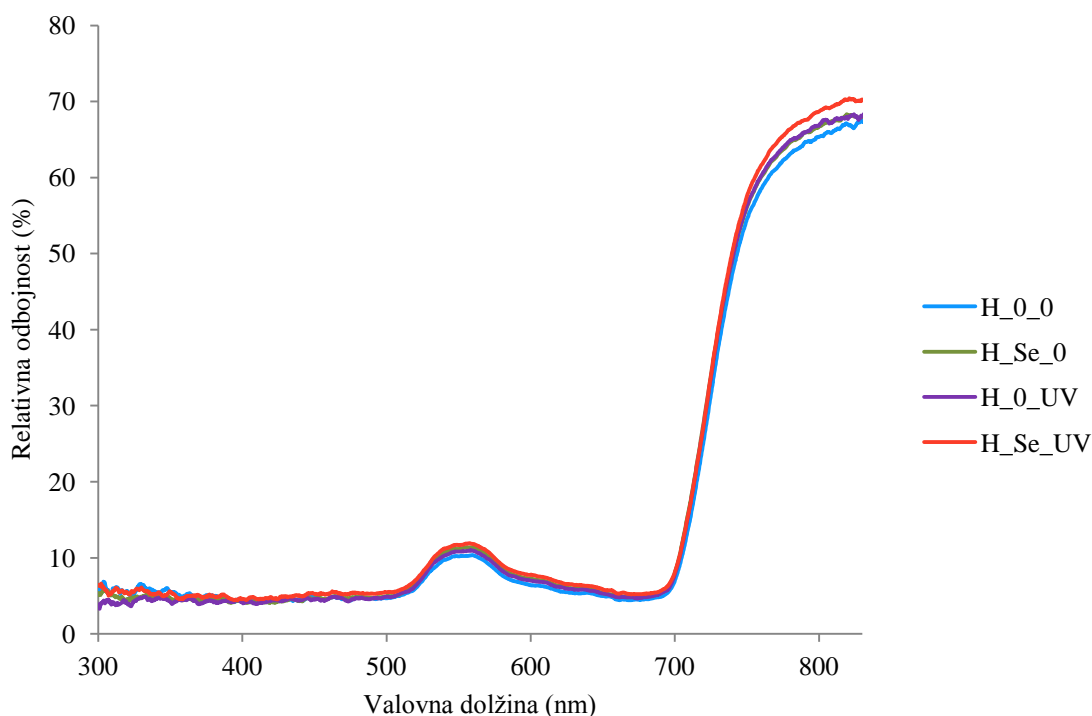
4.3.1 Odbojnost

Odbojnost tatarske in hibridne ajde je bila pri vseh obravnavanjih nizka v UV območju (280-400 nm), prav tako v vidnem območju (400-700 nm) spektra. V zelenem delu (500-580 nm) vidnega območja se je odbojnost nekoliko povečala. V NIR območju (700-830 nm) je bila odbojnost visoka.



Slika 14: Odbojni spektri listov tatarske ajde pri posameznih obravnavanjih. Podatki so povprečja znotraj 5 nm intervalov.

Odbojni spektri listov tatarske ajde se pri posameznih obravnavanjih v večinskem delu spektra med seboj niso statistično značilno razlikovali. Izjema je bil zeleni del vidnega spektra. Tu je bila odbojnost listov tatarske ajde, ki je rasla v razmerah naravno prisotnega sevanja UV (T_0_UV) statistično značilno večja od odbojnosti listov tatarske ajde, ki je prav tako rasla v teh razmerah, a ob dodatku selena (T_Se_UV) (Tukeyev test, $p \leq 0,05$) (Slika 14).



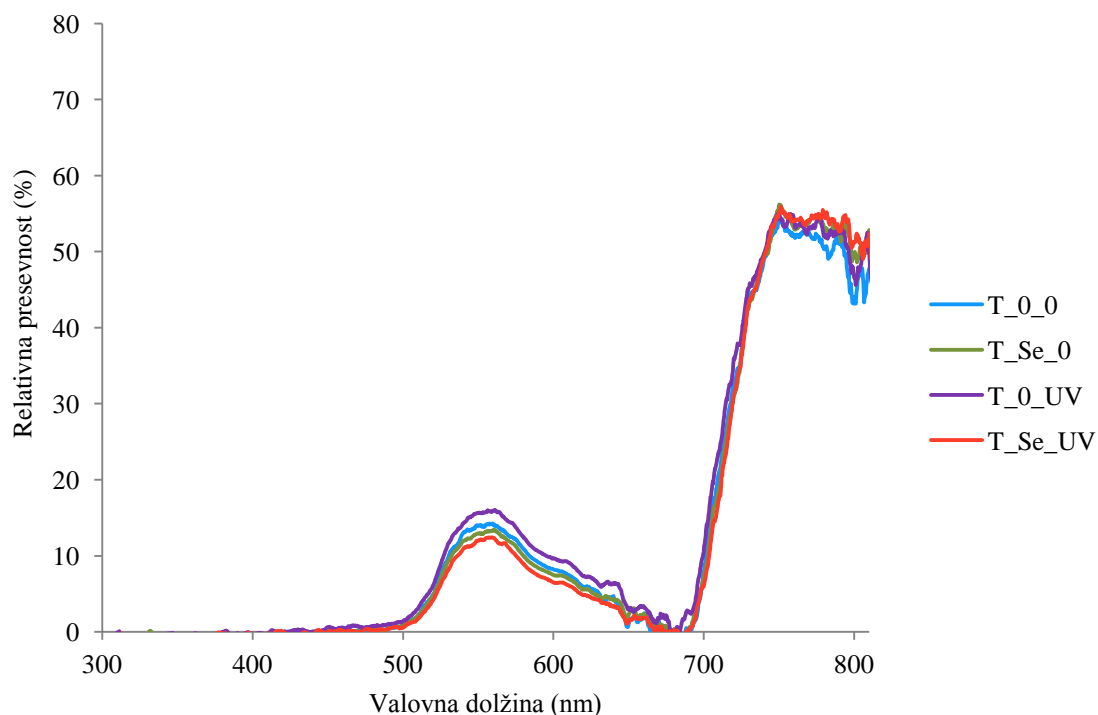
Slika 15: Odbojni spektri listov hibridne ajde pri posameznih obravnavanjih. Podatki so povprečja znotraj 5 nm intervalov.

Odbojni spektri listov hibridne ajde se pri posameznih obravnavanjih med seboj niso statistično značilno razlikovali (Slika 15).

Pri statistični analizi odbojnih spektrov listov rastlin obeh vrst ajde, ki so rastle v enakih razmerah, smo ugotovili, da sta se odbojna spektra obeh vrst pri znižanem sevanju UV ter brez dodatka selena (T_0_0 in H_0_0) statistično značilno razlikovala v celotnem vidnem območju spektra, ob prisotnosti obeh dejavnikov (T_Se_UV in H_Se_UV) pa se nista razlikovala. Ob samo naravno prisotnem sevanju UV (T_0_UV in H_0_UV) sta se razlikovala v vseh območjih spektra, razen v NIR, ob znižanem sevanju UV ter ob dodatku selena (T_Se_0 in H_Se_0) pa samo v UV-A in vijoličnem območju spektra (Priloge C1-C4).

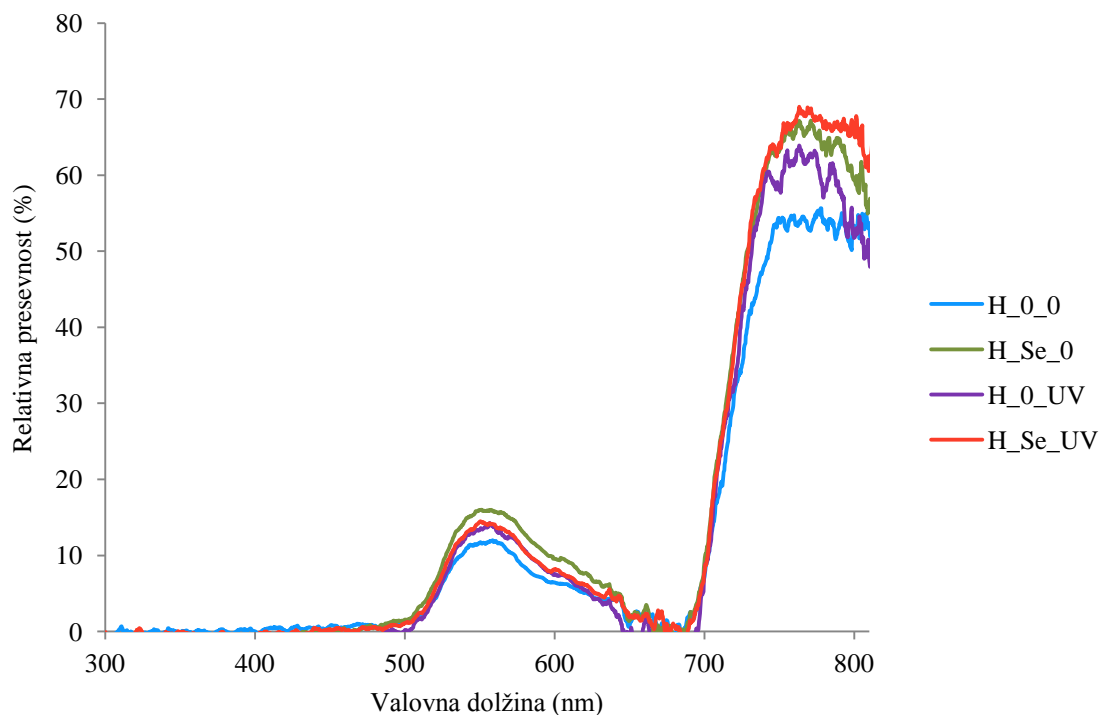
4.3.2 Presevnost

Tatarska in hibridna ajda v UV območju (280-400 nm) v bistvu nista presevali svetlobe. Nizka presevnost je bila v modrem in vijoličnem delu vidnega območja, povečala se je v zelenem delu ter zopet padla v rumenem in rdečem delu vidnega območja spektra. Presevnost v NIR območju (700-810 nm) je bila visoka.



Slika 16: Presevni spektri listov tatarske ajde pri posameznih obravnavanjih. Podatki so povprečja znotraj 5 nm intervalov.

Pri statistični analizi presevnega spektra tatarske ajde smo ugotovili, da sta se v zelenem in rumenem delu vidnega območja spektra statistično značilno razlikovali obravnavanji T_0_UV in T_Se_UV, in sicer je imela druga v tem delu manjšo relativno presevnost (Tukeyev test, $p \leq 0,05$) (Slika 16).



Slika 17: Presevni spektri listov hibridne ajde pri posameznih obravnavanjih. Podatki so povprečja znotraj 5 nm intervalov.

Pri statistični analizi presevnega spektra hibridne ajde ni bilo statistično značilnih razlik. V zelenem in rumenem območju spektra sta se najbolj razlikovali obravnavanji H_0_0 in H_Se_0, v NIR območju pa H_0_0 in H_Se_UV (Tukeyev test) (Slika 17).

Pri statistični analizi presevnih spektrov listov rastlin obeh vrst ajde, ki so rastle v enakih razmerah, smo ugotovili, da sta se ajdi v presevnosti med sabo manj razlikovali kot v odbojnosti. Ob naravno prisotnem sevanju UV (T_0_UV in H_0_UV) se je njuna presevnost statistično značilno razlikovala v rdečem delu vidnega območja spektra (Priloge C5-C8).

4.4 KORELACIJE MED MORFOLOŠKIMI IN BIOKEMIJSKIMI LASTNOSTMI LISTOV TER OPTIČNIMI LASTNOSTMI LISTOV

Korelacije med neodvisnimi (morfološke in biokemijske lastnosti lista) ter odvisnimi spremenljivkami (odbojnost in presevnost) smo izračunali s pomočjo Pearsonovega koeficienta korelacije (Preglednice 1-15). Prikazane so le lastnosti s statistično značilno stopnjo povezanosti z odbojnim oz. presevnim spektrom. Korelacijske vrednosti $p \leq 0,05$ so označene z modrim odtenkom in zvezdico, korelacijske vrednosti $p \leq 0,01$ pa z oranžnim odtenkom in dvema zvezdicama.

4.4.1 Povezava med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi ter odbojnim spektrom tatarske ajde

Preglednica 1: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju T_0_0; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, $n=7$.

	Območje odbojnega spektra							NIR
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	
Morfološke lastnosti								
Debelina sp. povrhnjice (μm)	0,606	0,424	0,766*	0,784*	0,774*	0,754	0,760*	0,652
Debelina stebr. tkiva (μm)	0,455	0,524	0,764*	0,610	0,084	0,054	0,150	0,493
Vsebnost vode (g)	0,785*	0,423	0,634	0,563	0,207	0,080	-0,086	0,102
Biokemijske lastnosti								
Klorofil <i>a</i> (mg/cm^2)	-0,580	-0,159	-0,181	-0,445	-0,911**	-0,906**	-0,833*	0,002
Klorofil <i>a</i> (mg/g)	-0,613	-0,420	-0,379	-0,537	-0,946**	-0,967**	-0,952**	-0,306
Klorofil <i>b</i> (mg/cm^2)	-0,162	0,253	0,050	-0,289	-0,687	-0,741	-0,803*	0,252
Klorofil <i>b</i> (mg/g)	-0,131	0,104	-0,091	-0,353	-0,677	-0,754	-0,881**	0,015
Karotenoidi (mg/cm^2)	-0,489	-0,030	-0,060	-0,354	-0,845*	-0,847*	-0,774*	0,152
Karotenoidi (mg/g)	-0,558	-0,385	-0,329	-0,488	-0,913**	-0,947**	-0,946**	-0,243

Vpliv morfoloških lastnosti na odbojni spekter tatarske ajde se je v razmerah znižanega sevanja UV ter brez dodatka selena izrazil v vijoličnem, modrem, zelenem in rdečem območju spektra, s katerimi je bila debelina spodnje povrhnjice pozitivno povezana ($p \leq 0,05$). Z vijoličnim območjem spektra je bila prav tako pozitivno povezana debelina stebričastega tkiva ($p \leq 0,05$), UV-B območje spektra je bilo v pozitivni povezavi z vsebnostjo vode ($p \leq 0,05$).

Prav tako smo opazili močno povezavo med odbojnim spektrom ter nekaterimi biokemijskimi lastnostmi. Klorofil *a* je bil negativno povezan z zelenim in rumenim območjem ($p \leq 0,01$) ter rdečim območjem ($p \leq 0,05$ na enoto površine, $p \leq 0,01$ na enoto mase), prav tako karotenoidi ($p \leq 0,05$ na enoto površine, $p \leq 0,01$ na enoto mase), klorofil *b* pa le z rdečim območjem ($p \leq 0,05$ na enoto površine, $p \leq 0,01$ na enoto mase).

Preglednica 2: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju T_0_UV; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, $n=8$.

	Območje odbojnega spektra							
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Morfološke lastnosti								
Debelina zg. kutikule (μm)	-0,708*	-0,842**	-0,562	-0,674	-0,463	-0,573	-0,649	-0,284
Debelina gob. tkiva (μm)	-0,523	-0,730*	-0,688	-0,657	-0,450	-0,342	-0,301	-0,730*
Gostota trih. na zg. p. (mm^{-2})	0,094	0,404	0,748*	0,657	0,782*	0,524	0,334	0,745*

V razmerah naravno prisotnega sevanja UV ter brez dodatka selena se je pri tatarski ajdi pokazala povezava le z nekaterimi morfološkimi lastnostmi: debelina zgornje kutikule je bila negativno povezana z UV-B ($p \leq 0,05$) ter UV-A območjem ($p \leq 0,01$), debelina gobastega tkiva je bila prav tako negativno povezana z UV-A in NIR območjem ($p \leq 0,05$), gostota trihomov na zgornji povrhnjici pa je bila povezana pozitivno z vijoličnim, zelenim ter NIR območjem odbojnega spektra ($p \leq 0,05$).

Preglednica 3: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju T_Se_0; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, $n=8$.

	Območje odbojnega spektra							
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Morfološke lastnosti								
Gostota trih. na sp. p. (mm^{-2})	0,003	-0,319	-0,301	-0,218	-0,409	-0,314	-0,252	-0,753*
Vsebnost vode (g)	0,361	-0,118	-0,412	-0,350	-0,493	-0,415	-0,319	-0,742*
Biokemijske lastnosti								
UV-B abs. snovi (rel. enota/ cm^2)	-0,422	-0,770*	-0,673	-0,582	-0,647	-0,573	-0,602	-0,538
UV-A abs. snovi (rel. enota/ cm^2)	-0,524	-0,840**	-0,711*	-0,579	-0,560	-0,476	-0,541	-0,594

Ob znižanem sevanju UV in dodatku selena pri tatarski ajdi je bilo NIR območje odbojnega spektra v negativni povezavi z gostoto trihomov na spodnji povrhnjici ($p \leq 0,05$) ter vsebnostjo vode ($p \leq 0,05$).

UV-B absorbirajoče snovi (na enoto površine) so bile v negativni povezavi z UV-A območjem spektra ($p \leq 0,05$), UV-A absorbirajoče snovi (na enoto površine) pa v negativni povezavi z UV-A območjem ($p \leq 0,01$) in vijoličnim območjem spektra ($p \leq 0,05$).

Preglednica 4: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju T_Se_UV; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, $n=8$.

	Območje odbojnega spektra							NIR
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	
Biokemijske lastnosti								
Klorofil <i>a</i> (mg/g)	-0,279	-0,232	-0,389	-0,571	-0,720*	-0,715*	-0,629	-0,500
Karotenoidi (mg/g)	-0,339	-0,304	-0,454	-0,631	-0,760*	-0,757*	-0,691	-0,587
Antociani (rel. enota/cm ²)	0,347	0,263	0,088	-0,078	-0,335	-0,350	-0,362	-0,753*
Antociani (rel. enota/g)	-0,009	-0,063	-0,250	-0,430	-0,644	-0,661	-0,624	-0,889**
UV-B abs. snovi (rel. enota/g)	-0,234	-0,212	-0,318	-0,568	-0,739*	-0,753*	-0,727*	-0,625
UV-A abs. snovi (rel. enota/g)	-0,211	-0,183	-0,291	-0,533	-0,704	-0,717*	-0,685	-0,618

Pri naravno prisotnem sevanju UV ter dodatku selena so bili klorofil *a*, karotenoidi in UV-B absorbirajoče snovi (vsi na enoto mase) negativno povezani z zelenim in rumenim območjem odbojnega spektra ($p \leq 0,05$). UV-B absorbirajoče snovi so bile prav tako v negativni povezavi z rdečim območjem ($p \leq 0,05$). UV-A absorbirajoče snovi (na enoto mase) so bile v negativni povezavi le z rumenim območjem ($p \leq 0,05$). Antociani so bili negativno povezani z NIR območjem ($p \leq 0,05$ na enoto površine, $p \leq 0,01$ na enoto mase).

4.4.2 Povezava med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi ter odbojnim spektrom hibridne ajde

Preglednica 5: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju H_{0_0}; *p ≤ 0,05, n=7.

	Območje odbojnega spektra							NIR
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	
Morfološke lastnosti								
Debelina lista (μm)	0,653	0,456	0,436	0,376	0,782*	0,771*	0,543	0,095
Debelina stebr. tkiva (μm)	0,627	0,548	0,521	0,506	0,771*	0,792*	0,644	0,289
Debelina gob. tkiva (μm)	0,700	0,547	0,526	0,500	0,820*	0,849*	0,687	0,256
Gostota trih. na zg. p. (mm ⁻²)	0,678	0,569	0,578	0,544	0,789*	0,801*	0,670	0,359
Vsebnost vode (g)	0,632	0,570	0,603	0,624	0,796*	0,831*	0,761*	0,557

Ob znižanjem sevanju UV ter brez dodatka selena smo pri hibridni ajdi opazili povezave odbojnega spektra le z morfološkimi lastnostmi. Z zelenim in rumenim območjem so bile pozitivno povezane debelina lista, debelina stebričastega tkiva, debelina gobastega tkiva ter gostota trihomov na zgornji povrhnjici ($p \leq 0,05$). Vsebnost vode je bila v pozitivni povezavi z zelenim, rumenim in rdečim območjem odbojnega spektra ($p \leq 0,05$).

Preglednica 6: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju H_{0_UV}; *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=6.

	Območje odbojnega spektra							NIR
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	
Morfološke lastnosti								
Debelina lista (μm)	0,021	-0,215	-0,716	-0,851*	-0,966**	-0,967**	-0,906*	-0,539
Debelina sp. kutikule (μm)	-0,597	-0,757	-0,821*	-0,747	-0,492	-0,515	-0,739	-0,260
Debelina stebr. tkiva (μm)	-0,262	-0,567	-0,872*	-0,890*	-0,689	-0,706	-0,893*	-0,647
Gostota trih. na sp. p. (mm ⁻²)	0,279	0,034	-0,329	-0,352	-0,250	-0,236	-0,317	-0,864*
Biokemijske lastnosti								
Klorofil a (mg/g)	-0,843*	-0,689	-0,370	-0,197	-0,016	-0,036	-0,179	0,482
Antociani (rel. enota/g)	-0,392	-0,064	0,501	0,650	0,712	0,704	0,663	0,927**

Ob naravno prisotnem sevanju UV ter brez dodatka selena je bila debelina lista hibridne ajde negativno povezana z modrim in rdečim ($p \leq 0,05$) ter zelenim in rumenim ($p \leq 0,01$) območjem odbojnega spektra, debelina spodnje kutikule je bila negativno povezana z

vijoličnim območjem ($p \leq 0,05$), debelina stebričastega tkiva pa poleg vijoličnega še z modrim in rdečim ($p \leq 0,05$). Gostota trihomov na spodnji povrhnjici je bila negativno povezana z NIR delom spektra ($p \leq 0,05$).

Od biokemijskih lastnosti je imel klorofil *a* (na enoto mase) negativno povezavo z UV-B območjem odbojnega spektra ($p \leq 0,05$), antociani (na enoto mase) pa pozitivno z NIR območjem ($p \leq 0,01$).

Preglednica 7: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju H_Se_0; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, $n=8$.

	Območje odbojnega spektra							
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Morfološke lastnosti								
Debelina zg. povrhnjice (μm)	-0,737*	-0,691	-0,632	-0,422	-0,057	-0,099	-0,317	-0,082
Dolžina rež na zg. povrh. (μm)	0,098	0,286	0,420	0,600	0,725*	0,696	0,639	0,773*
Dolžina rež na sp. povrh. (μm)	0,381	0,549	0,644	0,703	0,703	0,670	0,687	0,790*
Biokemijske lastnosti								
Klorofil <i>a</i> (mg/cm^2)	0,066	-0,180	-0,413	-0,540	-0,862**	-0,837**	-0,676	-0,564
Klorofil <i>a</i> (mg/g)	0,265	-0,004	-0,226	-0,435	-0,767*	-0,786*	-0,656	-0,355
Karotenoidi (mg/cm^2)	-0,132	-0,332	-0,508	-0,593	-0,823*	-0,783*	-0,646	-0,559
Karotenoidi (mg/g)	0,121	-0,137	-0,328	-0,528	-0,814*	-0,825*	-0,705	-0,368
Antociani (rel. enota/ cm^2)	0,359	0,103	-0,116	-0,355	-0,736*	-0,721*	-0,550	-0,503

V razmerah znižanega sevanja UV ter ob dodatku selena je bila pri hibridni ajdi z UV-B območjem odbojnega spektra negativno povezana debelina zgornje povrhnjice ($p \leq 0,05$). Dolžina rež na zgornji povrhnjici je bila v pozitivni povezavi z zelenim in NIR območjem ($p \leq 0,05$), s slednjim pa je bila pozitivno povezana tudi dolžina rež na spodnji povrhnjici ($p \leq 0,05$).

Od biokemijskih lastnosti so bili z zelenim in rumenim območjem spektra negativno povezani klorofil *a* ($p \leq 0,01$ na enoto površine, $p \leq 0,05$ na enoto mase), karotenoidi ($p \leq 0,05$ na enoto površine in na enoto mase) ter antociani na enoto površine ($p \leq 0,05$).

Preglednica 8: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji odbojnega spektra pri obravnavanju H_Se_UV; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, $n=8$.

	Območje odbojnega spektra							NIR
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	
Morfološke lastnosti								
Debelina zg. kutikule (μm)	0,294	-0,092	-0,169	-0,332	-0,795*	-0,759*	-0,518	-0,682
Debelina sp. kutikule (μm)	0,250	-0,221	-0,454	-0,691	-0,903**	-0,907**	-0,805*	-0,772*
Debelina zg. povrhnjice (μm)	-0,712*	-0,543	-0,167	0,150	0,268	0,324	0,261	-0,172
Debelina gob. tkiva (μm)	0,726*	0,536	0,535	0,360	0,103	0,113	0,197	-0,087
Gostota rež na zg. povrh. (mm^{-2})	-0,610	-0,787*	-0,554	-0,352	-0,107	-0,076	-0,210	-0,487
Gostota rež na sp. povrh. (mm^{-2})	-0,821*	-0,641	-0,623	-0,418	-0,115	-0,134	-0,281	-0,058
Biokemijske lastnosti								
Klorofil <i>a</i> (mg/cm^2)	0,358	-0,103	-0,379	-0,611	-0,725*	-0,742*	-0,713*	-0,470
Karotenoidi (mg/cm^2)	0,372	-0,135	-0,378	-0,604	-0,722*	-0,734*	-0,697	-0,506
Antociani (rel. enota/g)	0,037	-0,074	-0,386	-0,570	-0,684	-0,708*	-0,642	-0,338

V razmerah naravno prisotnega sevanja UV ter dodatka selena je bila debelina zgornje kutikule hibridne ajde v negativni povezavi z zelenim in rumenim območjem odbojnega spektra ($p \leq 0,05$), prav tako spodnja kutikula ($p \leq 0,01$). Slednja je bila v negativni povezavi še z rdečim in NIR območjem ($p \leq 0,05$). UV-B območje je bilo v negativni povezavi z debelino zgornje povrhnjice ter gostoto rež na spodnji povrhnjici ($p \leq 0,05$), v pozitivni pa z debelino gobastega tkiva ($p \leq 0,05$). Gostota rež na zgornji povrhnjici je bila negativno povezana z UV-A območjem ($p \leq 0,05$).

Od biokemijskih lastnosti so bili v negativni povezavi klorofil *a* (na enoto površine) z zelenim, rumenim in rdečim območjem odbojnega spektra ($p \leq 0,05$), karotenoidi (na enoto površine) z zelenim in rumenim območjem ($p \leq 0,05$) ter antociani (na enoto mase) z rumenim območjem ($p \leq 0,05$).

4.4.3 Povezava med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi ter presevnim spektrom tatarske ajde

Preglednica 9: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji presevnega spektra pri obravnavanju T_0_0; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, $n=7$.

	Območje presevnega spektra							NIR
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	
Morfološke lastnosti								
Debelina lista (μm)	0,705	0,791*	0,390	0,137	-0,448	-0,467	0,336	0,469
Debelina stebr. tkiva (μm)	0,781*	0,829*	0,667	0,354	-0,194	-0,245	0,612	0,595
Gostota rež na sp. povrh. (mm^{-2})	0,402	0,292	-0,160	-0,412	-0,909**	0,910**	-0,336	-0,366
Dolžina rež na sp. povrh. (μm)	-0,417	-0,353	0,126	0,474	0,910**	0,886**	0,312	0,350
Biokemijske lastnosti								
Klorofil <i>a</i> (mg/cm^2)	0,438	0,424	0,195	0,156	-0,762*	-0,824*	-0,133	-0,066
Klorofil <i>b</i> (mg/cm^2)	0,238	0,291	0,106	-0,064	-0,761*	-0,762*	-0,282	-0,294
Karotenoidi (mg/cm^2)	0,467	0,467	0,230	0,145	-0,764*	-0,820*	-0,111	-0,043
Antociani (rel. enota/ cm^2)	-0,601	-0,667	-0,885**	-0,737	-0,236	-0,155	-0,868*	-0,701
Antociani (rel. enota/g)	-0,791*	-0,843*	-0,888**	-0,642	-0,010	0,071	-0,851*	-0,720
UV-B abs. snovi (rel. enota/g)	0,008	-0,014	0,567	0,755*	0,668	0,568	0,541	0,418
UV-B abs. snovi (rel. enota/ cm^2)	0,414	0,415	0,751	0,781*	0,399	0,286	0,694	0,657
UV-A abs. snovi (rel. enota/g)	0,063	0,060	0,634	0,818*	0,611	0,505	0,577	0,447
UV-A abs. snovi (rel. enota/ cm^2)	0,536	0,558	0,849*	0,856*	0,291	0,169	0,754	0,722

Ob zmanjšanem sevanju UV ter brez dodatka selena je imela debelina lista tatarske ajde pozitivno povezavo z UV-A območjem presevnega spektra ($p \leq 0,05$), debelina stebričastega tkiva pa z UV-A in UV-B območjem ($p \leq 0,05$). Gostota in dolžina rež na spodnji povrhnjici sta bili v pozitivni povezavi z rumenim območjem, z zelenim območjem pa je bila gostota rež na spodnji povrhnjici negativno, njihova dolžina pa pozitivno povezana ($p \leq 0,01$).

S presevnim spektrom je bilo povezanih tudi nekaj biokemijskih lastnosti. Klorofil *a*, klorofil *b* ter karotenoidi (vsi na enoto površine) so bili v negativni povezavi z zelenim in rumenim območjem presevnega spektra ($p \leq 0,05$). Antociani na enoto površine so bili negativno povezani z vijoličnim ($p \leq 0,01$) ter rdečim območjem ($p \leq 0,05$), na enoto mase pa z UV-B, UV-A ter rdečim območjem ($p \leq 0,05$) in pa z vijoličnim območjem ($p \leq 0,01$). Z modrim območjem presevnega spektra so bile pozitivno povezane UV-A in UV-B

absorbirajoče snovi na enoto mase ter enoto površine ($p \leq 0,05$), UV-A absorbirajoče snovi na enoto površine pa prav tako z vijoličnim območjem presevnega spektra ($p \leq 0,05$).

Preglednica 10: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji presevnega spektra pri obravnavanju T_0_UV; * $p \leq 0,05$, n=8.

	Območje presevnega spektra							
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Morfološke lastnosti								
Debelina lista (μm)	0,760*	0,581	0,496	0,374	0,011	0,053	0,492	0,164
Debelina stebr. tkiva (μm)	0,784*	0,723*	0,567	0,364	-0,109	-0,106	0,419	0,163
Dolžina rež na zg. povrh. (μm)	0,675	0,707*	0,514	0,473	0,181	0,16	0,538	0,421
Dolžina rež na sp. povrh. (μm)	0,748*	0,661	0,547	0,529	0,283	0,287	0,649	0,457
Biokemijske lastnosti								
Antociani (rel. enota/cm ²)	-0,196	0,304	-0,126	-0,392	-0,655	-0,755*	-0,494	-0,119

Ob naravno prisotnem sevanju UV ter brez dodatka selena so na območje presevnega spektra tatarske ajde vplivale predvsem morfološke lastnosti. Z UV-B območjem so bile pozitivno povezane debelina lista, debelina stebričastega tkiva ter dolžina rež na spodnji povrhnjici ($p \leq 0,05$), z UV-A območjem pa prav tako pozitivno debelina stebričastega tkiva ter dolžina rež na zgornji povrhnjici ($p \leq 0,05$).

Od biokemijskih lastnosti so bili le antociani (na enoto površine) v negativni povezavi z rumenim območjem presevnega spektra ($p \leq 0,05$).

Preglednica 11: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji presevnega spektra pri obravnavanju T_Se_UV; * $p \leq 0,05$, n=8.

	Območje presevnega spektra							
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Morfološke lastnosti								
Gostota trih. na zg. p. (mm ⁻²)	0,359	0,286	0,584	0,645	0,410	0,420	0,675	0,780*

Ob naravno prisotnem sevanju UV ter dodatku selena je bila z NIR območjem presevnega spektra tatarske ajde povezana gostota trihomov na zgornji povrhnjici ($p \leq 0,05$).

V razmerah zmanjšane sevanja UV-B ter ob dodatku selena (T_Se_0) morfološke in biokemijske lastnosti tatarske ajde niso bile statistično značilno povezane z nobenim območjem presevnega spektra.

4.4.4 Povezava med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi ter presevnim spektrom hibridne ajde

Preglednica 12: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji presevnega spektra pri obravnavanju H_0_0; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, $n=7$.

	Območje presevnega spektra							NIR
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	
Morfološke lastnosti								
Debelina lista (μm)	-0,594	-0,606	-0,334	-0,034	-0,202	-0,113	-0,149	-0,906**
Debelina stebr. tkiva (μm)	-0,698	-0,726	-0,429	-0,157	-0,367	-0,265	-0,312	-0,973**
Debelina gob. tkiva (μm)	-0,603	-0,670	-0,376	-0,097	-0,297	-0,189	-0,248	-0,938**
Gostota rež na sp. povrh. (mm^{-2})	-0,580	-0,788*	-0,503	-0,383	-0,510	-0,450	-0,524	-0,590
Dolžina rež na zg. povrh. (μm)	0,335	0,490	0,701	0,685	0,780*	0,804*	0,730	0,371
Gostota trih. na zg. p. (mm^{-2})	-0,633	-0,608	-0,382	-0,143	-0,366	-0,263	-0,293	-0,930**
SLA (cm^2/mg)	0,575	0,627	0,262	-0,052	0,038	-0,030	0,027	0,785*
Vsebnost vode (g)	-0,571	-0,648	-0,429	-0,253	-0,474	-0,355	-0,420	-0,880**
Biokemijske lastnosti								
Klorofil <i>a</i> (mg/cm^2)	-0,259	-0,510	-0,612	-0,730	-0,837*	-0,822*	-0,832*	-0,199
Karotenoidi (mg/cm^2)	-0,313	-0,612	-0,597	-0,658	-0,822*	-0,761*	-0,815*	-0,374
Antociani (rel. enota/ cm^2)	-0,759*	-0,612	-0,440	-0,332	-0,577	-0,505	-0,498	-0,775*
UV-B abs. snovi (rel. enota/g)	0,855*	0,535	-0,100	-0,246	-0,153	-0,227	-0,134	0,544
UV-A abs. snovi (rel. enota/ cm^2)	-0,360	-0,637	-0,463	-0,179	-0,245	-0,189	-0,237	-0,727*

Ob odsotnosti naravnega sevanja UV in selena je bila gostota rež na spodnji povrhnjici hibridne ajde negativno povezana z UV-A območjem ($p \leq 0,05$), dolžina rež na zgornji povrhnjici pa pozitivno z zelenim in rumenim območjem presevnega spektra ($p \leq 0,05$). Največ morfoloških lastnosti je bilo v povezavi z NIR območjem, in sicer so bile negativno povezane debelina lista, debelina stebričastega tkiva in gobastega tkiva, gostota trihomov na zgornji povrhnjici ter vsebnost vode ($p \leq 0,01$), pozitivno pa SLA ($p \leq 0,05$).

Klorofil *a* in karotenoidi (na enoto površine) so bili negativno povezani z zelenim, rumenim in rdečim območjem spektra ($p \leq 0,05$), antociani (na enoto površine) negativno z UV-B in NIR območjem, UV-B absorbirajoče snovi (na enoto mase) pozitivno z UV-B območjem ($p \leq 0,05$) ter UV-A absorbirajoče snovi (na enoto površine) negativno z NIR območjem ($p \leq 0,05$).

Preglednica 13: Pearsonov koeficient korelacije med morfološki in biokemijski lastnostmi listov ter posameznimi območji presevnega spektra pri obravnavanju H_0_UV; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, $n=6$.

	Območje presevnega spektra							
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Morfološke lastnosti								
Debelina lista (μm)	0,530	0,454	0,364	0,340	-0,879*	-0,888*	0,151	-0,801
Debelina zg. kutikule (μm)	-0,647	-0,620	-0,566	-0,594	0,767	0,761	-0,402	0,891*
SLA (cm^2/mg)	-0,788	-0,744	-0,681	-0,687	0,844*	0,868*	-0,511	0,946**
Biokemijske lastnosti								
Antociani (rel. enota/ cm^2)	0,525	0,505	0,466	0,542	-0,728	-0,674	0,349	-0,902*

Ob naravno prisotnem sevanju UV ter brez dodatka selena sta bili z zelenim in rumenim območjem presevnega spektra hibridne ajde povezani debelina lista negativno ($p \leq 0,05$) ter SLA pozitivno ($p \leq 0,05$). NIR območje je bilo pozitivno povezano z debelino zgornje kutikule ($p \leq 0,05$) ter SLA ($p \leq 0,01$).

Od biokemijskih lastnosti so bili antociani (na enoto površine) z NIR območjem povezani negativno ($p \leq 0,05$).

Preglednica 14: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji presevnega spektra pri obravnavanju H_Se_0; *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=8.

	Območje presevnega spektra							
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Morfološke lastnosti								
Debelina zg. povrhnjice (μm)	-0,803*	-0,787*	-0,707	0,022	0,734*	0,739*	0,023	0,623
Gostota rež na zg. povrh. (mm ⁻²)	0,761*	0,751*	0,599	-0,200	-0,793*	-0,794*	-0,233	-0,618
Dolžina rež na zg. povrh. (μm)	-0,198	-0,160	0,123	0,736*	0,484	0,533	0,763*	0,163
Dolžina rež na sp. povrh. (μm)	0,086	0,131	0,425	0,873**	0,233	0,303	0,807*	-0,190
Biokemijske lastnosti								
Klorofil <i>a</i> (mg/g)	0,529	0,493	0,259	-0,383	-0,689	-0,710*	-0,459	-0,560
Antociani (rel. enota/cm ²)	0,653	0,616	0,338	-0,512	-0,824*	-0,859**	-0,555	-0,581

Ob zmanjšanem sevanju UV ter dodatku selena je bila debelina zgornje povrhnjice hibridne ajde negativno povezana z UV-B in UV-A območjem presevnega spektra, z zelenim in rumenim območjem pa pozitivno ($p \leq 0,05$). Gostota rež na zgornji povrhnjici je bila pozitivno povezana z UV-B in UV-A območjem ter negativno z zelenim in rumenim območjem ($p \leq 0,05$). Dolžina rež na zgornji povrhnjici je bila pozitivno povezana z modrim in rdečim območjem ($p \leq 0,05$), dolžina rež na spodnji povrhnjici pa prav tako pozitivno z modrim ($p \leq 0,01$) in rdečim območjem ($p \leq 0,05$) presevnega spektra.

Klorofil *a* (na enoto mase) je bil v negativni povezavi z rumenim območjem ($p \leq 0,05$), antociani (na enoto površine) pa v negativni povezavi z zelenim ($p \leq 0,05$) in rumenim območjem ($p \leq 0,01$).

Preglednica 15: Pearsonov koeficient korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov ter posameznimi območji presevnega spektra pri obravnavanju H_Se_UV; *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=8.

	Območje presevnega spektra							
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Morfološke lastnosti								
Debelina zg. kutikule (μm)	0,446	0,473	0,200	-0,362	-0,790*	-0,814*	-0,527	-0,483
Debelina sp. kutikule (μm)	0,014	0,127	-0,374	-0,817*	-0,806*	-0,855**	-0,923**	-0,483
Debelina zg. povrhnjice (μm)	-0,541	-0,627	-0,200	0,037	0,655	0,652	0,414	0,797*
Debelina sp. povrhnjice (μm)	-0,933**	-0,931**	-0,786*	-0,534	0,414	0,380	-0,197	0,603

se nadaljuje

nadaljevanje Preglednica 15: Pearsonov koeficient korelacije med morfološki in biokemijski lastnostmi listov ter posameznimi območji presevnega spektra pri obravnavanju H₂Se₂UV; *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, n=8.

	Območje presevnega spektra							
	UV-B	UV-A	VIJOL.	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Morfološke lastnosti								
Dolžina rež na zg. povrh. (μm)	-0,494	-0,515	-0,268	0,076	0,754*	0,756*	0,538	0,818*
Dolžina rež na sp. povrh. (μm)	-0,669	-0,731*	-0,332	0,017	0,770*	0,774*	0,449	0,809*
SLA (cm ² /mg)	0,505	0,507	0,379	0,181	-0,500	-0,496	-0,253	-0,729*
Biokemijske lastnosti								
Klorofil <i>a</i> (mg/cm ²)	0,531	0,582	0,183	-0,232	-0,878**	-0,876**	-0,627	-0,717*
Klorofil <i>a</i> (mg/g)	0,604	0,633	0,335	-0,013	-0,787*	-0,785*	-0,497	-0,842**
Klorofil <i>b</i> (mg/cm ²)	0,632	0,683	0,283	0,134	-0,751*	-0,708*	-0,415	-0,895**
Klorofil <i>b</i> (mg/g)	0,620	0,660	0,326	0,144	-0,701	-0,676	-0,389	-0,881**
Karotenoidi (mg/cm ²)	0,513	0,566	0,171	-0,290	-0,878**	-0,879**	-0,633	-0,686
Karotenoidi (mg/g)	0,612	0,642	0,346	-0,032	-0,796*	-0,796*	-0,500	-0,844**

Pri hibridni ajdi, ki je uspevala v razmerah naravno prisotnega sevanja UV ter dodatka selena, smo opazili veliko povezav presevnega spektra z morfološki in biokemijski lastnostmi, predvsem z zelenim, rumenim in NIR območjem. Debelina zgornje kutikule je bila negativno povezana z zelenim in rumenim območjem ($p \leq 0,05$), debelina spodnje kutikule pa prav tako negativno z modrim, zelenim ($p \leq 0,05$) ter rumenim in rdečim ($p \leq 0,01$) območjem. Debelina zgornje povrhnjice je bila v pozitivni povezavi z NIR območjem ($p \leq 0,05$), debelina spodnje povrhnjice pa v negativni z UV-B, UV-A ($p \leq 0,01$) ter vijoličnim območjem ($p \leq 0,05$). Dolžina rež na zgornji povrhnjici je bila pozitivno povezana z zelenim, rumenim ter NIR območjem ($p \leq 0,05$), dolžina rež na spodnji povrhnjici pa poleg tega še negativno z UV-A območjem ($p \leq 0,05$). Z NIR območjem je bila negativno povezana tudi SLA ($p \leq 0,05$).

Zelen in rumen del spektra je bil negativno povezan s klorofilom *a* ($p \leq 0,01$ na enoto površine, $p \leq 0,05$ na enoto mase), klorofilom *b* ($p \leq 0,05$ na enoto površine) ter karotenoidi ($p \leq 0,01$ na enoto površine, $p \leq 0,05$ na enoto mase). Z NIR območjem presevnega spektra so bili negativno povezani naslednje biokemijske lastnosti: klorofil *a* ($p \leq 0,05$ na enoto površine, $p \leq 0,01$ na enoto mase), klorofil *b* ($p \leq 0,01$ na enoto površine in na enoto mase) ter karotenoidi ($p \leq 0,01$ na enoto mase).

5 RAZPRAVA

Da bi razumeli interakcijo svetlobe z listom in spremembe v njegovih optičnih lastnostih kot odziv na specifične okoljske razmere, moramo razumeti vpliv morfoloških in biokemijskih lastnosti lista na listno odbojnost, presevnost in absorpcijo (Liew in sod., 2008). Večina raziskav se ukvarja z odzivom rastlin na povečano sevanje UV-B (Kakani in sod., 2003; Searles in sod., 2001; Reddy in sod., 2013), nekatere pa tudi z odzivi rastlin na dejanske okoljske jakosti (Guruprasad in sod., 2007; Kataria in Guruprasad, 2012; Kataria in sod., 2013). Izključitev sevanja UV iz sončnega spektra je namreč lahko pomembno orodje za oceno vpliva okoljskega sevanja UV na rast in razvoj rastlin (Guruprasad in sod., 2007).

V diplomski nalogi smo proučevali vpliv naravno prisotnega oz. okoljskega ultravijoličnega sevanja ter selena v obliki natrijevega selenata na morfološke in biokemijske lastnosti listov tatarske (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) in hibridne ajde (*Fagopyrum hybridum*), posredno s tem pa vpliv teh dveh dejavnikov na optične lastnosti listov obeh vrst. Zanimalo nas je, ali bosta sevanje UV in selen vplivala na optične lastnosti in ali se bodo optične lastnosti obeh vrst med seboj razlikovale. Ugotavljali smo razlike v odbojnosti in presevnosti med posameznimi obravnavanji znotraj vsake vrste in razlike med vrstama ob enakih obravnavanjih.

5.1 VPLIV ULTRAVIJOLIČNEGA SEVANJA IN SELENA NA MORFOLOŠKE IN BIOKEMIJSKE LASTNOSTI LISTOV TATARSKE IN HIBRIDNE AJDE

Listi tatarske in hibridne ajde so si bili med posameznimi obravnavanji precej podobni v morfoloških in biokemijskih lastnostih.

5.1.1 Vpliv naravno prisotnega ultravijoličnega sevanja

Meritve morfoloških in biokemijskih lastnosti rastlin, ki so rastle ob naravno prisotnem sevanju UV v primerjavi s tistimi, ki so rastle ob znižanem sevanju UV, niso pokazale

statistično značilnih razlik pri nobeni vrsti. Iz tega sklepamo, da okoljsko sevanje UV v naši raziskavi na te lastnosti ni imelo velikega vpliva. Opazili smo nekatere tipične spremembe, ki nakazujejo na to, da je izpostavljenost sevanju UV rastlini kljub vsemu povzročila nekaj učinkov, na primer povečanje debeline lista pri hibridni ajdi, kar je funkcionalna prilagoditev na povečanje sevanja UV-B (Cen in Bornman, 1990; Johanson in sod., 1995; Jansen in sod., 1998), saj lahko ublaži njegove škodljive učinke (Teramura, 1983), povečanje debeline kutikularne plasti pri obeh vrstah ajde, kar poveča odboj UV žarkov (Hollósy, 2002), vsebnost klorofilov se je pri obeh vrstah zmanjšala, saj je znano da sevanje UV-B lahko uniči strukturo kloroplastov (Roleda in sod., 2006), povzroči inhibicijo biosinteze ali razgradnjo klorofilov in njihovih prekurzorjev (Teramura, 1983). Nekoliko se je povečala tudi vsebnost UV-absorbirajočih snovi, ki pa so eden značilnih pokazateljev zaščite pred sevanjem UV-B (Rozema in sod., 1997b). Povečanje vsebnosti UV-B absorbirajočih snovi so ugotovili tudi Caldwell in sod. (1994) in Olsson in sod. (1999). Heijari in sod. (2006) pa povečanja vsebnosti flavonoidov niso ugotovili. Minimalno povečanje UV-absorbirajočih snovi kaže na to, da je njihova zaščitna vloga manj pomembna (Heijari in sod., 2006) ali pa so te snovi prisotne že v zadostni količini, ne glede na sevanje. Pri hibridni ajdi se je nekoliko povečala tudi vsebnost antocianov. Znano je, da njihovo sintezo med drugim povzroči tudi sevanje UV-B (de Pascual-Teresa in Sanchez-Ballesta, 2008).

5.1.2 Vpliv selena

Dokazano je bilo, da selen ščiti rastline pred poškodbami zaradi sevanja UV (Seppänen in sod., 2003). Vpliv selena na rastline je odvisen od njegove koncentracije (Breznik in sod., 2005b). Rastopina, ki vsebuje 1 mg Se/L, domnevno zmanjšuje negativne učinke sevanja UV-B, ki deluje na rastline (Breznik in sod., 2005b), Xue in Hartikainen (2000) pa navajata, da ima tudi ta koncentracija lahko toksične učinke nanje. Koncentracija 10 mg Se/L, s katero smo mi foliarno škropili rastline, ima nanje lahko pozitivne ali pa tudi negativne učinke. Hartikainen in sod. (2000) so v svoji raziskavi pri tej koncentraciji opazili prooksidativni učinek selena na ljuljko (*Lolium perenne*). V naši raziskavi ob dodatku selena v razmerah znižanega sevanja UV ni bilo statistično značilnih razlik med

morfološki lastnostmi rastlin. Značilnega učinka selena na celične ali tkivne strukture proučevanih rastlin niso ugotovili niti Heijari in sod. (2006), ki so selen dodali v koncentraciji 0,1 in 1,0 mg Se/L. Pri naših listih tatarske ajde se je debelina posameznih plasti lista večinoma povečala (predvsem debelina stebričastega in gobastega tkiva), a so bile spremembe majhne. Pri listih hibridne ajde so bile spremembe v debelini posameznih plasti še manjše. Opazili smo tudi zmanjšanje gostote listnih rež na spodnji povrhnjici pri obeh vrstah. Pri primerjavi biokemijskih lastnosti smo opazili nekaj statistično značilnih razlik v vsebnosti barvil pri tatarski ajdi. Ob dodatku selena se je statistično značilno povečala vsebnost klorofilov *a* in *b*. Statistično značilno se je povečala tudi vsebnost UV-B absorbirajočih snovi, prav tako pa se je nekoliko povečala vsebnost karotenoidov ter UV-A absorbirajočih snovi, kar je lahko posledica stresnih razmer. Vsebnost antocianov se je zmanjšala. Pri hibridni ajdi pa se je vsebnost klorofilov *a* in *b*, karotenoidov ter antocianov zmanjšala, vsebnost UV-absorbirajočih snovi pa povečala, a ne statistično značilno. Na podlagi naših analiz sprememb v morfoloških in biokemijskih lastnostih lahko zaključimo, da je selen na tatarsko ajdo deloval pozitivno, visoka vsebnost UV-absorbirajočih snovi je dobro zaščitila mezofil lista in ni prišlo do poškodb kloroplastov in s tem do negativnega vpliva na fotosintezna barvila. Pri hibridni ajdi ni bilo tako učinkovite zaščite, zato je bil vpliv selena nekoliko negativen.

5.1.3 Vpliv naravno prisotnega ultravijoličnega sevanja in selena

Pri proučevanju hkratnega vpliva sevanja UV ter selena na morfološke in biokemijske lastnosti obeh vrst ajde smo ugotovili, da se je v primerjavi z rastlinami, ki so rastle le ob naravno prisotnem sevanju UV, pri tatarski ajdi statistično značilno povečala debelina lista, vsebnost klorofila *a* ter vsebnost karotenoidov, prav tako se je povečala debelina stebričastega in gobastega tkiva ter vsebnost klorofila *b* ter antocianov. Dodatek selena namreč lahko zmanjša poškodbe kloroplastov zaradi sevanja UV-B in poveča vsebnost klorofilov (Feng in sod., 2013). Tudi Seppänen in sod. (2003) so dokazali, da je selen povečal količino klorofilov, ki je bila zmanjšana zaradi svetlobnega stresa. Zmanjšala se je vsebnost UV-absorbirajočih snovi in SLA. Iz teh ugotovitev lahko sklepamo, da je selen pomagal rastlini pri spoprijemanju z vplivi sevanja UV. Debelina lista se je namreč še

dodatno povečala, prav tako vsebnost pomožnih barvil, vsebnost klorofila pa se ni zmanjšala, kot bi v stresnih razmerah pričakovali, ampak se je povečala. Pri hibridni ajdi se je statistično značilno zmanjšala gostota trihomov na spodnji povrhnjici ter vsebnost antocianov na enoto mase. Ostali parametri se niso statistično značilno razlikovali, je pa imel dodatek selena v razmerah okoljskega sevanja UV na hibridno ajdo podobne učinke kot na tatarsko. Vsebnost klorofilov se je povečala, vsebnost UV-B absorbirajočih snovi pa zmanjšala. Interakcija sevanja UV z drugimi dejavniki, ki na rastlino delujejo stresno, lahko povzroči, da zaščitni mehanizem ni učinkovit v celoti (Filella in Peñuelas, 1999).

5.1.4 Kristali oksalata

Pri obeh vrstah ajde smo na prečnih prerezi njihnih listov opazili tudi kristale (predvidoma kalcijevega) oksalata (Slika 2). Kristali kalcijevega oksalata so prisotni v mnogih rastlinskih vrstah. Sodelujejo pri uravnavanju kalcija, zaščiti rastlin, podpori tkiva, zaščiti pred herbivorijo, razstrupljanju težkih kovin in oksalne kisline, vzpostavljanju ionskega ravnotežja in celo pri zbiranju in odboju svetlobe (Schürhoff, 1908; Franceschi in Horner, 1980; Franceschi, 2001). Kristali so bili prisotni pri vseh obravnavanjih, na nekaterih preparatih jih je bilo le nekaj, na drugih so bili številni, še posebej okrog žil. Gostote kristalov pri posameznih obravnavanjih nismo merili, so pa zanimiv objekt za proučevanje vpliva na rastline v kakšni od prihodnjih raziskav.

5.2 ODBOJNI IN PRESEVNI SPEKTRI TATARSKE IN HIBRIDNE AJDE PRI RAZLIČNIH RASTNIH RAZMERAH

Pri analizi odbojnih spektrov tatarske in hibridne ajde smo ugotovili, da so imeli spektri tipično obliko za zelene rastline, in sicer nizko odbojnost v UV območju spektra, prav tako v vidnem območju z rahlim vrhom v zelenem delu, odbojnost v NIR območju spektra pa je bila visoka (Yoshimura in sod., 2010). Odbojni spektri obeh rastlinskih vrst so si bili med posameznimi obravnavanji precej podobni. Na odbojne spektre namreč vplivajo površinske lastnosti listov, notranja zgradba in biokemijska sestava (Liew in sod., 2008), rezultati

naših meritev pa pri večini teh parametrov med posameznimi obravnavanji niso bili statistično značilno različni in so se med seboj le malo razlikovali.

Prav tako kot odbojni, so imeli tudi presevni spektri obeh vrst ajde podobno obliko. Na presevnost lista najbolj vplivata debelina in struktura listov. Sevanja UV listi semenk ne presevajajo, presevnost pa je višja v zelenem delu vidnega območja ter v NIR območju presevnega spektra (Larcher, 2003).

5.2.1 Ultravijolično območje

Odbojnost v UV delu spektra je bila nizka in se med posameznimi obravnavanji tatarske in tudi hibridne ajde ni statistično značilno razlikovala. List odbije okrog 5 % UV valovnih dolžin in tako je bilo tudi v našem primeru (Slika 14, Slika 15). V tem delu večino sevanja UV absorbirajo UV-absorbirajoče snovi, ki so prisotne predvsem v povrhnjici in listnih dlačicah, kopičenje teh snovi pa je glavni zaščitni mehanizem pred potencialno škodljivimi učinki UV žarkov (Barnes in sod., 2015).

Ker v UV delu spektra večino sevanja UV absorbirajo že omenjene UV-absorbirajoče snovi, ostalo pa se odbije, list svetlobe v UV delu spektra praktično ne preseva. To se vidi tudi na naših grafih (Slika 16, Slika 17).

5.2.2 Vidno območje

Prav tako sta bili odbojnost in presevnost nizki v vidnem območju spektra. V rdečem delu svetlobo absorbirajo klorofili *a* in *b*, v modrem pa jo poleg klorofilov absorbirajo še karotenoidi. Antociani absorbirajo med 400 in 600 nm. V zelenem delu fotosintezni pigmenti slabše absorbirajo, zato smo opazili rahel vrh v odbojnosti in presevnosti (Yoshimura in sod., 2010). V zelenem delu vidnega območja je bil odboj tatarske ajde, ki je rasla v razmerah naravno prisotnega sevanja UV statistično značilno večji od odboja tiste, ki smo ji v enakih razmerah dodali še selen (Slika 14). Prav tako je bila statistično značilno večja presevnost (Slika 16). Slednja tudi v rumenem delu spektra. Ker je

odbojnost v zelenem delu spektra odvisna od vsebnosti klorofilov in antocianov (Gitelson in sod., 2001), predvidevamo, da so naše ugotovitve posledica statistično značilno večje vsebnosti antocianov v razmerah naravno prisotnega sevanja UV ter dodatka selena (Slika 12, Priloga B1). V teh razmerah je bila absorpcija svetlobe v zelenem delu spektra večja, posledično pa sta bili odbojnost in presevnost manjši. Gitelson in sod. (2001) so ob zvišanju vsebnosti antocianov v tem delu opazili povečano absorpcijo. Do enakega zaključka sta prišla tudi Neill in Gould (2000). Ugotovila sta, da so bile višje koncentracije antocianov povezane s povečano absorpcijo in zmanjšano odbojnostjo zelenih in rumenih valovnih dolžin. Manjši delež k razliki v odbojnosti in presevnosti v tem delu spektra tatarske ajde sta najbrž prispevala tudi klorofila, saj je bila njuna vsebnost pri rastlinah, ki so rastle ob naravno prisotnem sevanju UV ter selenu precej povečana, klorofil *a* statistično značilno (Sliki 9 in 10, Priloga B1). Carter in Knapp (2001) namreč navajata, da je vzrok za spremembe v zeleno-rumenem delu odbojnega spektra lahko tudi sprememba v zmanjšanju vsebnosti klorofila. Ostali deli vidnega območja odbojnih in presevnih spektrov tatarske ajde ter tudi celotno vidno območje odbojnih in presevnih spektrov hibridne ajde se med posameznimi obravnavanji niso statistično značilno razlikovali.

5.2.3 Bližnje infrardeče območje (NIR)

Analizo odbojnosti listov v NIR območju spektra lahko uporabimo za oceno učinkov strukturnih lastnosti listov na odbojnost (Slaton in sod., 2001).

Na prehodu iz rdečega dela vidnega območja v NIR valovne dolžine, odbojnost lista močno naraste in tej točki pravimo rdeči rob (Slaton in sod., 2001). Je posledica močne absorpcije klorofilov v rdečem območju ter močne odbojnosti v NIR območju spektra zaradi sipanja svetlobe znotraj lista in znižane absorpcije pigmentov pri valovnih dolžinah, večjih od 700 nm. Odstopanja v odbojnosti v tem delu so lahko močan kazalnik stresnih razmer za rastline (Liew in sod., 2008). Iz naših grafov in statističnih analiz sklepamo, da naše rastline med obravnavanji niso bile pod vplivom stresnih razmer.

V NIR območju sta odbojnost in presevnost pri vseh obravnavanih obeh vrst zelo narastli, odbilo se je okrog 70% vpadne svetlobe, nekaj manj svetlobe pa je presevalo skozi list. V tem delu je absorpcija nizka zaradi pomanjkanja prevladujočega absorpcijskega faktorja, saj fotosintezni pigmenti višjih rastlin ne absorbirajo v NIR območju. Odbojnost v tem delu je odvisna od zgradbe lista (Yoshimura in sod., 2010). Za grafične prikaze in statistične obdelave smo za odbojnost v tem delu uporabili valovne dolžine le med 700 in 830 nm, za presevnost pa od 700 do 810 nm, saj se je pri merjenju pri večjih valovnih dolžinah pojavil šum, za katerega predvidevamo, da je bil posledica sevanja ozadja, napake pri merjenju, naključne ekscitacije, napake merske naprave ali česa drugega. Tudi v tem delu statistično značilnih razlik med odbojnimi in presevnimi spektri ni bilo. Je pa bila v NIR območju presevnega spektra hibridne ajde opaznejša razlika med presevnostjo listov rastlin, ki so rastle ob znižanem sevanju UV ter brez dodatka selena in presevnostjo listov tistih, ki so rastle ob prisotnosti obeh dejavnikov. Pri prvih je bila presevnost nižja kljub temu, da je bila njihova debelina lista tanjša. Bornman in Vogelmann (1991) sta v svoji raziskavi ugotovila, da imajo tanjši listi večjo presevnost. Morda so naše ugotovitve posledica statistično značilne razlike v gostoti trihomov na zgornji povrhnjici (Priloga A2). Pri prvem obravnavanju je bila njihova gostota večja, posledično je bila večja tudi odbojnost svetlobe, presevnost pa manjša. Da lahko trihomi znižajo presevnost lista, so potrdili tudi Baldini in sod. (1997).

Razlike v odbojnosti, presevnosti in absorpciji v območju 400-500 nm, 670-680 nm ter NIR območju so nizke za liste rastlin, ki rastejo v stresnih razmerah v primerjavi z zdravimi listi. Zdi se, da so koncentracije karotenoidov in drugih pomožnih pigmentov ponavadi dovolj velike v stresnih listih, da absorpcija v območju 400-500 nm ostane podobna kot pri zdravih listih. V območju 670-680 nm se lahko absorpcija nasiči zaradi močne vpojnosti klorofila, tako da mora priti do relativno velikega zmanjšanja količine klorofila v listih, preden pride do značilne optične razlike (Carter in Knapp, 2001).

5.2.4 Primerjava odbojnosti in presevnosti med ajdama v enakih rastnih razmerah

Pri primerjavi odbojnih spektrov listov rastlin obeh vrst ajde, ki so rastle v enakih razmerah, smo ugotovili, da sta si bila najbolj podobna odbojna spektra tistih, ki so rastle v razmerah naravno prisotnega sevanja UV v kombinaciji z dodatkom selena. Med tema dvema skupinama rastlin v morfoloških in biokemijskih lastnostih skoraj ni bilo statistično značilnih razlik, le v dolžini rež na spodnji povrhnjici (Priloge A1, A2 in C4). Pri vseh ostalih obravnavanjih je bila odbojnost listov tatarske ajde večja od odbojnosti listov hibridne ajde v vseh območjih spektra. Najbolj sta se razlikovali ajdi, ki sta rastle v razmerah znižanega sevanja UV ter brez dodatka selena ter ajdi, ki sta rastle v razmerah naravno prisotnega sevanja UV. Pri obeh kombinacijah izstopajo statistično značilne razlike v vsebnosti barvil (Priloge B1, B2, C1 in C3). Večinoma je imela tatarska ajda manjšo vsebnost barvil, posledično manjšo absorpcijo in večjo odbojnost v vidnem delu spektra.

Pri primerjavi presevnih spektrov listov rastlin obeh vrst ajde, ki so rastle v enakih razmerah, pa smo ugotovili, da je bila presevnost tatarske ajde v vidnem območju presevnega spektra v razmerah znižanega sevanja UV ter brez dodatka selena večja v zelenem in rumenem delu, v razmerah naravno prisotnega sevanja UV pa je bila večja v vseh delih (Prilogi C5 in C7). Pri ostalih dveh obravnavanjih (ob prisotnosti selena in ob prisotnosti naravnega sevanja UV ter selena) pa je bila v večini tega območja višja presevnost hibridne ajde (Prilogi C6 in C8). Statistično značilna razlika v presevnosti med ajdama je bila v rdečem delu v razmerah naravno prisotnega sevanja UV. Tatarska ajda je imela manjšo vsebnost klorofilov *a* in *b*, s tem manjšo absorpcijo, posledično pa večjo presevnost. Presevnost v NIR območju je bila pri vseh obravnavanjih, razen v razmerah naravno prisotnega sevanja UV, večja pri hibridni ajdi.

5.3 KORELACIJE MED MORFOLOŠKIMI IN BIOKEMIJSKIMI LASTNOSTMI TER ODBOJNIM SPEKTROM LISTOV TATARSKE AJDE V RAZLIČNIH RASTNIH RAZMERAH

5.3.1 Zmanjšano ultravijolično sevanje in brez dodatka selena

Korelacije med morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi in odbojnim spektrom tatarske ajde nam v razmerah zmanjšane sevanja UV in brez dodatka selena prikazujejo povezave predvsem z biokemijskimi lastnostmi lista, to je z barvili. Klorofil *a* in karotenoidi so močno povezani z zelenim, rumenim in rdečim delom vidnega spektra, klorofil *b* pa le z rdečim. Povezave so negativne, kar pomeni, da se v teh delih spektra ob povečanju teh barvil zaradi njihove povečane absorpcije, odbojnost svetlobe zmanjša. Do enakih zaključkov so prišli tudi Klančnik in sod. (2014), saj je odbojnost v vidnem območju določena predvsem s fotosintezni barvili (Gates in sod., 1965). Vlogo barvil pri odbojnosti so potrdili še v mnogih drugih raziskavah (Slaton in sod., 2001; Baltzer in Thomas, 2005; Levizou in sod., 2005; Castro in Sanchez-Azofeifa, 2008). Tesna povezava med odbojnostjo v območju rdečega roba blizu 700 nm in vsebnostjo klorofila kaže na to, da antociani ne vplivajo na optične lastnosti lista v območju rdečega roba, ampak je ta odvisen le od vsebnosti klorofila (Gitelson in sod., 2001).

Tudi nekaj morfoloških lastnosti je bilo v pozitivni povezavi s posameznimi območji odbojnega spektra, med drugim debelina spodnje povrhnjice z vijoličnim, modrim, zelenim in rdečim delom. To lahko povežemo s trditvijo Gausmana in sod. (1972), ki pravijo, da spodnje površine listov odbijajo več difuzne vidne svetlobe kot zgornje. Za to svetlobo, ki postane difuzna v notranjosti listov, je spodnja površina večja ovira za izstop kot zgornja in tako naleti še na dodatno odbojno oviro. Prav tako se svetloba, ki doseže list z zunanje strani, bolj odbije od spodnje povrhnjice kot od zgornje. Ta selektivni učinek se zgodi zato, ker je povrhnjica večinoma nepigmentirana in tako svetloba, ki pade na spodnjo stran lista, vstopi v list in se odbije od notranje površine povrhnjice, klorofil pa je na tej poti ne prestreza. Podobno lahko trdimo za pozitivno povezavo med debelino stebričastega tkiva z

vijoličnim delom vidnega spektra, kar pomeni, da se ob povečani debelini odbije več difuzne vijolične vidne svetlobe.

Vsebnost vode je bila v pozitivni povezavi z UV-B območjem odbojnega spektra.

5.3.2 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in brez dodatka selena

V razmerah naravno prisotnega sevanja UV je bilo z odbojnim spektrom povezanih le nekaj morfoloških lastnosti. Debelina zgornje kutikule je bila v negativni povezavi z UV-B in UV-A območjem. Negativna povezava pomeni, da se ob povečanju kutikule zmanjša odboj v tem delu spektra. To je pričakovano, saj se UV-absorbirajoče snovi kopičijo tudi v kutikuli in učinkovito absorbirajo UV žarke (Day, 1993).

Debelina gobastega tkiva je bila v negativni povezavi z UV-A in NIR območjem spektra. Prvo ugotovitev lahko pojasnimo s tem, da se pod vplivom sevanja UV-B vsebnost UV-absorbirajočih snovi lahko poveča tudi v mezofilu, kot sta ugotovila Robberecht in Caldwell (1983) in se zaščita pred sevanjem UV pojavi tudi v globljih tkivih. Sevanje UV-A prodre globlje kot UV-B (Vogelmann, 1993). Druga ugotovitev pa je posledica tega, da gobasti mezofil svetlobo razprši, kar poveča njeno absorpcijo (Beck, 2005), posledica tega pa je manjša odbojnost.

Gostota trihomov na zgornji povrhnjici pa je bila v pozitivni povezavi z vijoličnim, zelenim in NIR območjem. Trihomi povečajo odboj svetlobe v vidnem območju (Liew in sod., 2008), pomembno pa vplivajo tudi na NIR del spektra (Slaton in sod., 2001). Ni pa bila gostota trihomov pri tem obravnavanju največja, a ima le v teh razmerah povezavo z vidnim delom spektra. Tudi Ehleringer (1981) je ugotovil, da odlakanost listov pri puščavskih vrstah *Encelia farinosa* in *Brickelia incana* poveča NIR odbojnost do 10 %.

5.3.3 Zmanjšano ultravijolično sevanje in dodatek selena

Gostota trihomov na spodnji povrhnjici in vsebnost vode sta bila negativno povezana z NIR območjem.

UV-A in UV-B absorbirajoče snovi so bile v negativni povezavi z UV-A območjem. Kot smo že omenili, te snovi močno absorbirajo UV dele spektra, zato je povezava razumljiva. UV-A absorbirajoče snovi so bile prav tako negativno povezane z vijoličnim območjem odbojnega spektra. Negativno povezavo med UV-absorbirajočimi snovmi in odbojnim spektrom so potrdili tudi Klančnik in sod. (2014). V naši raziskavi je bila vsebnost UV-absorbirajočih snovi pri tatarski ajdi pri tem obravnavanju največja.

5.3.4 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in dodatek selena

Pri tem obravnavanju so bile z odbojnim spektrom povezane le nekatere biokemijske lastnosti listov. Klorofil *a* in karotenoidi (mg/g) so bili v negativni povezavi z zelenim in rumenim območjem, saj na odbojnost v tem delu spektra vpliva absorpcija omenjenih barvil. Ugotovili smo tudi negativno povezavo antocianov z NIR območjem, čeprav absorpcija barvil naj ne bi vplivala na odbojnost v NIR območju spektra (Gitelson in sod., 2001).

UV-B absorbirajoče snovi so bile v negativni povezavi z zelenim, rumenim in rdečim območjem. Z rumenim prav tako UV-A absorbirajoče snovi. Ta povezava je verjetno le posredna, saj imajo flavonoidi zelo majhno absorpcijo v vidnem območju spektra (Caldwell in sod., 1983b).

5.4 KORELACIJE MED MORFOLOŠKIMI IN BIOKEMIJSKIMI LASTNOSTMI TER ODBOJNIM SPEKTROM LISTOV HIBRIDNE AJDE V RAZLIČNIH RASTNIH RAZMERAH

5.4.1 Zmanjšano ultravijolično sevanje in brez dodatka selena

Odbojni spekter je bil pri tem obravnavanju povezan le z nekaterimi morfološkimi lastnostmi listov. Opazili smo pozitivno povezavo zelenega in rumenega območja odbojnega spektra z debelino lista, čeprav je Woolley (1971) ugotovil, da odbojnost ni

močno odvisna od debeline lista znotraj običajnih vrednosti. Tudi debelina stebričastega tkiva je bila pozitivno povezana z omenjenima območjema. Sinclair in sod. (1971) so ugotovili, da odbojnost lista izhaja iz celic stebričastega tkiva, kjer položaj celuloznih mikrofibril v stenah celic difuzno odbija sevanje. Pozitivno povezavo debeline gobastega tkiva z zelenim in rumenim območjem spektra lahko pojasnimo s trditvijo Terashime in Saekija (1983), da je odbojnost gobastega tkiva večja od odbojnosti stebričastega tkiva, to pa verjetno zaradi velikega odboja na neravnih površinah celic v gobastem tkivu. Isti dejavnik povzroča tudi večje sipanje in večje vpijanje svetlobe.

Pozitivno je bila z zelenim in rumenim območjem odbojnega spektra povezana tudi gostota trihomov na zgornji povrhnjici. Tudi Billings in Morris (1951) sta ugotovila, da trihomi povečajo odbojnost v vidnem delu spektra. Prav tako je prisotnost dlačic pri vrsti *Arctotheca nivea* vplivala na večjo odbojnost v tem delu, ker je zaradi sipanja svetlobe manjša količina sevanja vstopila v list, s tem pa se je zmanjšala absorpcija (Pearman, 1966).

Vsebnost vode je bila pozitivno povezana z zelenim, rumenim in rdečim območjem vidnega dela odbojnega spektra hibridne ajde.

Povezav odbojnega spektra z barvili pri tem obravnavanju ni bilo. Morda zato, ker barvila niso porazdeljena enakomerno v listnem tkivu in svetloba na svoji poti lahko naleti na različne količine barvil (Fukshansky in sod., 1993; Rabinowitch, 1951).

5.4.2 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in brez dodatka selena

Pri tem obravnavanju so bile predvsem morfološke lastnosti povezane z odbojnostjo hibridne ajde.

Debelina spodnje kutikule je bila negativno povezana z vijoličnim območjem. Debelina stebričastega tkiva je bila negativno povezana z vijoličnim, modrim in rdečim območjem. To lahko pojasnimo s tem, da se vidna svetloba najbolj učinkovito absorbira v stebričastem

tkivu (Chandrasekharan, 2005). Stebričasto tkivo vsebuje veliko kloroplastov, v katerih se nahajata klorofila *a* in *b* (Wooley, 1971), ki močno absorbirata v vijolično-modrem in rdečem delu vidnega spektra, prav tako pa se tudi antociani najpogosteje nahajajo v vakuolah stebričastega tkiva (Gould in Quinn, 1999), ki prav tako absorbirajo svetlobo v modrem in tudi v vijoličnem območju vidnega spektra. Debelini stebričastega in gobastega tkiva sta bili pri tem obravnavanju precej veliki in tako je list vseboval več omenjenih barvil, ki so absorbirala te valovne dolžine. Debelina lista je bila negativno povezana z modrim, zelenim, rumenim in rdečim območjem, domnevno prav tako zaradi visoke vsebnosti antocianov ter tudi klorofilov pri tem obravnavanju.

Gostota trihomov na spodnji povrhnjici je bila negativno povezana z NIR območjem spektra. Gausman in sod. (1972) so ugotovili, da je odlakanost listov zmanjšala odbojnost v NIR delu spektra. V nasprotju z njimi pa so Billings in Morris (1951) ter Pearman (1966) ugotovili, da odlakanost lista zviša listno odbojnost v NIR. Najbrž je to odvisno od porazdelitve, velikosti in oblike trihomov ter pod kakšnim kotom trihomi rastejo. Ker se ti dejavniki močno razlikujejo med vrstami, ni splošnega pravila, kako trihomi vplivajo na NIR odbojnost (Grant, 1987).

Od biokemijskih lastnosti smo opazili negativno povezavo med klorofilom *a* (mg/g) in UV-B območjem ter pozitivno povezavo med antociani (rel. e./g) in NIR območjem.

5.4.3 Zmanjšano ultravijolično sevanje in dodatek selena

Pri tem obravnavanju so na odbojnost vplivale predvsem biokemijske lastnosti, in sicer klorofil *a*, karotenoidi in antociani so imeli negativno povezavo z zelenim in rumenim delom spektra zaradi že omenjenega razloga. Antociani vplivajo na valovne dolžine vidnega območja sončnega spektra, povečajo absorpcijo zelenih in rumenih valovnih dolžin (Neill in Gould, 2000).

Od morfoloških lastnosti pa je imela debelina zgornje povrhnjice negativno povezavo z UV-B območjem, tu se namreč nalagajo UV-absorbirajoče snovi in preko njih povrhnjica

vpliva na odbojni spekter v tem delu. Dolžina rež na zgornji povrhnjici je bila pozitivno povezana z zelenim ter NIR območjem spektra, dolžina rež na spodnji povrhnjici pa pozitivno z NIR območjem spektra.

5.4.4 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in dodatek selena

Na odbojni spekter so imele večinoma vpliv morfološke lastnosti: debelina zgornje kutikule je bila negativno povezana z zelenim in rumenim območjem, debelina spodnje kutikule pa negativno z zelenim in rumenim, prav tako pa tudi z rdečim in NIR območjem.

Z UV-B območjem spektra je bila negativno povezana debelina zgornje povrhnjice. Ta preko UV-absorbirajočih snovi, ki se lahko kopičijo v njej vpliva na absorpcijo UV svetlobe (Gausman in sod., 1975) in ščiti notranja tkiva, pozitivno je bila s tem območjem povezana tudi debelina gobastega tkiva.

Gostota rež na zgornji povrhnjici je bila povezana negativno z UV-A območjem, gostota rež na spodnji povrhnjici pa prav tako negativno z UV-B območjem. Morda reže vplivajo na odbojnost teh valovnih dolžin preko kutikule oz. povrhnjice. Na spodnji povrhnjici jih je bilo pri tem obravnavanju najmanj in tako je ostalo več epidermalne površine, pokrite s kutikulo, ki je preko UV-absorbirajočih snovi vplivala na odbojnost v tem območju (Baltzer in Thomas, 2005).

Klorofil *a* je bil negativno povezan z zelenim, rumenim in rdečim delom vidnega območja spektra, karotenoidi negativno z zelenim in rumenim ter antociani (rel. e./g) negativno z rumenim. Kot že nekajkrat omenjeno, je to zaradi absorpcije omenjenih barvil teh valovnih dolžin.

5.5 KORELACIJE MED MORFOLOŠKIMI IN BIOKEMIJSKIMI LASTNOSTMI TER PRESEVNIM SPEKTROM LISTOV TATARSKE AJDE V RAZLIČNIH RASTNIH RAZMERAH

5.5.1 Zmanjšano ultravijolično sevanje in brez dodatka selena

Pri tem obravnavanju tatarske ajde je bila debelina lista pozitivno povezana z UV-A območjem, debelina stebričastega tkiva pa prav tako pozitivno z UV-B in UV-A območjem. UV-valovnih dolžin list ne prepušča, zato je ta pozitivna povezava verjetno slučajna. Gostota rež na spodnji povrhnjici je bila negativno povezana z zelenim in pozitivno z rumenim delom, dolžina rež na spodnji povrhnjici pa pozitivno z zelenim in rumenim. Slednje lahko razložimo s tem, da reže na vidno območje spektra lahko vplivajo zaradi celic zapiralk, ki vsebujejo klorofil, ta pa vpliva na presevnost v tem območju.

Klorofili in karotenoidi so bili negativno povezani z zelenim in rumenim območjem, antociani pa prav tako negativno z vijoličnim območjem presevnega spektra. Presevnost v tem delu je zaradi absorpcije teh barvil manjša. Antociani so bili povezani tudi z rdečim območjem (na enoto mase). Povečajo zajem rdeče svetlobe z odbojem fotonov v klorenhimu, ki bi v nasprotnem primeru presevali skozi list (Lee in sod., 1979; Lee in Graham, 1986). Povezani so bili negativno tudi z UV-B in UV-A območjem, saj prav tako ščitijo pred škodljivim sevanjem UV-B (Gould, 2004).

UV-A absorbirajoče snovi so bile pozitivno povezane z modrim in vijoličnim delom vidnega območja spektra, UV-B absorbirajoče snovi pa le z modrim.

5.5.2 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in brez dodatka selena

Pri tem obravnavanju je bil z morfološkimi lastnostmi pozitivno povezan UV del presevnega spektra. Z debelino lista UV-B del, z debelino stebričastega tkiva pa UV-B in UV-A. Dolžina rež na zgornji in spodnji povrhnjici je bila prav tako povezana z UV območjem. Reže so odprtine v povrhnjici in niso pokrite s kutikulo in morda zaradi tega

vzroka vplivajo na večjo presevnost UV valovnih dolžin. UV-absorbirajoče snovi v kutikuli namreč UV žarke absorbirajo (Day, 1993). Antociani so bili negativno povezani z rumenim delom vidnega spektra. Ker delno absorbirajo tudi v tem delu, je negativna povezava razumljiva.

5.5.3 Zmanjšano ultravijolično sevanje in dodatek selena

Morfološke in biokemijske lastnosti pri tem obravnavanju niso bile značilno povezane z nobenim območjem presevnega spektra hibridne ajde in vpliv nobene lastnosti ni izstopal.

5.5.4 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in dodatek selena

Opazili smo pozitivno povezavo gostote trihomov na zgornji povrhnjici z NIR območjem presevnega spektra. Prisotnost trihomov lahko značilno vpliva na optične lastnosti lista (Klančnik in sod., 2012) in zniža listno presevnost (Baldini in sod., 1997), kar je v nasprotju z našimi rezultati.

5.6 KORELACIJE MED MORFOLOŠKIMI IN BIOKEMIJSKIMI LASTNOSTMI TER PRESEVNIM SPEKTROM LISTOV HIBRIDNE AJDE V RAZLIČNIH RASTNIH RAZMERAH

5.6.1 Zmanjšano ultravijolično sevanje in brez dodatka selena

Morfološke lastnosti so vplivale predvsem na NIR del spektra, in sicer smo opazili negativno povezavo z debelino lista, debelino stebričastega tkiva, debelino gobastega tkiva, gostoto trihomov na zgornji povrhnjici ter vsebnostjo vode. Ta povezava je razumljiva, saj na optične lastnosti v NIR območju vpliva predvsem zgradba lista (Yoshimura in sod., 2010). Ob povečani debelini posameznih plasti se poveča zrcalna in difuzna odbojnost, več svetlobe se odbije, posledično pa je presevnost manjša. Z NIR delom spektra je bila pozitivno povezana še SLA. Večja kot je površina, večja je

presevnost. Gostota rež na spodnji povrhnjici je imela negativen vpliv na UV-A območje, dolžina rež na zgornji povrhnjici pa pozitiven vpliv na zelen in rumen del.

Od biokemijskih lastnosti so bili klorofil *a* in karotenoidi negativno povezani z zelenim, rumenim in rdečim delom, antociani pa negativno z UV-B ter NIR delom. UV-B absorbirajoče snovi so bile pozitivno povezane z UV-B delom, UV-A absorbirajoče snovi pa negativno z NIR.

Vpliv SLA, debeline stebričastega mezofila in vsebnosti antocianov na presevni spekter so ugotovili tudi Klančnik in sod. (2014).

5.6.2 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in brez dodatka selena

Z zelenim in rumenim delom je bila debelina lista povezana negativno. To lahko morda razložimo s tem, da so bili listi pri tem obravnavanju debelejši in so imeli posledično večjo vsebnost antocianov ter večjo absorpcijo svetlobe v teh območjih. Presevnost je bila zato manjša. SLA je bila s tema območjema povezana pozitivno. Ob povečani SLA se poveča tudi površina, skozi katero svetloba preseva.

Z NIR delom je bila pozitivno povezana debelina zgornje kutikule, SLA, negativno pa antociani.

5.6.3 Zmanjšano ultravijolično sevanje in dodatek selena

Debelina zgornje povrhnjice je bila negativno povezana z UV-B in UV-A območjem, pozitivno pa z zelenim in rumenim območjem presevnega spektra. Povrhnjica je selektivni filter sončnega sevanja. Absorbira veliko potencialno škodljivega sevanja UV, medtem ko prenese vidne valovne dolžine, potrebne za fotosintezo v spodaj ležeč mezofil. Kopičenje UV-absorbirajočih spojin in posledični padec epidermalne UV prepustnosti predstavljata primarni mehanizem, s katerim se rastline prilagodijo na spreminjajoče se UV okolje (Barnes in sod., 2015).

Gostota rež na zgornji povrhnjici je bila pozitivno povezana z UV-B in UV-A delom ter negativno z zelenim in rumenim delom. Kot smo že omenili v podpoglavju 5.5.2, je prva povezava najbrž posledica manjše zaščite s kutikulo, drugo povezavo in vpliv celic zapiralk na presevnost pa smo pojasnili v podpoglavju 5.5.1. Dolžina rež na zgornji in spodnji povrhnjici je bila povezana pozitivno z modrim in rdečim delom, čeprav bi pričakovali negativno povezavo zaradi močne absorpcije klorofilov v tem delu spektra.

Klorofil *a* je bil negativno povezan z rumenim delom, prav tako antociani, ki so bili poleg rumenega povezani še z zelenim delom vidnega spektra.

5.6.4 Naravno prisotno ultravijolično sevanje in dodatek selena

Pri tem obravnavanju smo opazili največ povezav z zelenim, rumenim in NIR območjem presevnega spektra. Z vsemi tremi so bili povezani: pozitivno dolžina rež na zgornji in spodnji povrhnjici, negativno pa klorofila *a* in *b* ter karotenoidi. Povezava vidnega dela spektra z biokemijskimi lastnostmi je pričakovana, v NIR območju pa barvila ne absorbirajo (Gitelson in sod., 2001). SLA je bila prav tako negativno povezana z NIR območjem.

Debelina obeh kutikul je bila negativno povezana z nekaterimi deli vidnega območja. Dolžina rež na spodnji povrhnjici je bila negativno povezana še z UV-A območjem. Debelina zgornje povrhnjice je bila v pozitivni povezavi z NIR, debelina spodnje povrhnjice pa v negativni z UV-B, UV-A in vijoličnim delom, saj absorbira UV valovne dolžine. Spodnja povrhnjica lahko zmanjša listno prepustnost tudi s krepitvijo notranjega odboja (Lin in Ehleringer, 1983).

6 SKLEPI

Hipoteza 1: *Povečano ultravijolično sevanje in selen bosta vplivala na optične lastnosti listov obeh vrst ajde.*

Optične lastnosti listov obeh vrst ajde so bile podobne. Tako krivulje odbojnega kot tudi krivulje presevnega spektra se med posameznimi obravnavanji niso oz. so se zelo malo razlikovale. V UV območju sevanje UV in selen na odbojnost in presevnost nista imela vpliva. Med vsebnostjo UV-absorbirajočih snovi so sicer bile med nekaterimi obravnavanji statistično značilne razlike, a ne tako velike, da bi vplivale na razlike v UV delu odbojnega oz. presevnega spektra obeh vrst. V vidnem območju spektra med odbojnimi in presevnimi spektri hibridne ajde ni bilo razlik, pri tatarski ajdi pa je bila odbojnost in presevnost v zelenem delu vidnega območja spektra statistično značilno večja ob prisotnosti sevanja UV kot ob dodatku selena v enakih razmerah. Presevnost je bila poleg zelenega, večja tudi v rumenem delu vidnega dela spektra. Selen je ob prisotnem sevanju UV vplival na povečanje vsebnosti antocianov, ki v tem delu absorbirajo, posledično pa sta bili odbojnost in presevnost manjši. Prav tako je na razliko v odboju imela vpliv povečana vsebnost klorofilov. V NIR območju se odbojni in presevni spektri niso statistično značilno razlikovali med obravnavanji pri obeh vrstah ajde. Opaznejša je bila razlika v presevnem spektru hibridne ajde, kjer sta se obravnavanji brez obeh dejavnikov in z obema dejavnikoma razlikovali v gostoti trihomov na zgornji povrhnjici, kar bi lahko povzročilo opaznejšo razliko v tem delu. Hipotezo lahko delno potrdimo.

Hipoteza 2: *Optične lastnosti obeh vrst ajde se bodo med seboj razlikovale.*

Najbolj podobna sta si bila odbojna spektra obeh vrst ajde, ki sta rastle ob naravno prisotnem sevanju UV z dodatkom selena, saj so si bile morfološke in biokemijske lastnosti teh rastlin najbolj podobne. Najbolj sta se razlikovali ajdi, ki sta rastle ob znižanem sevanju UV ter brez dodatka selena ter ajdi, ki sta rastle ob naravno prisotnem sevanju UV ter brez dodatka selena. V teh razmerah je bilo med njima kar nekaj statistično značilnih razlik, predvsem v vsebnosti barvil. Tatarska ajda je imela v večini barvnih pasov odbojnega spektra večjo odbojnost. V presevnosti sta se ajdi manj razlikovali. Razlika je

bila le v rdečem območju v razmerah naravno prisotnega sevanja UV in brez dodatka selena. Hipotezo lahko delno potrdimo.

7 POVZETEK

Ultravijolično sevanje predstavlja za rastline pomemben okoljski in razvojni dejavnik. Njegova količina se zaradi tanjšanja ozonske plasti v zadnjih letih povečuje, rastline pa so mu kot sesilni organizmi neizogibno izpostavljene. Sevanje v rastlinah povzroči povečanje proizvodnje reaktivnih kisikovih spojin, kar za rastline predstavlja oksidativni stres, ta pa lahko vodi v številne poškodbe. Ker so reaktivne kisikove spojine produkt celične presnove in jih celice v normalnih količinah potrebujejo za pravilno delovanje celičnih procesov, je pomembno, da ob njihovem povečanju rastline nadzorujejo njihovo količino, ne da bi jih popolnoma odpravile. S tem preprečijo oksidativne poškodbe.

S prilagajanjem svojih morfoloških, biokemijskih in fizioloških procesov se rastline borijo proti negativnim učinkom sevanja UV in ustvarjajo optimalno okolje za svoj obstoj. Odstranjevanje presežka reaktivnih kisikovih spojin dosežejo z učinkovitim antioksidativnim sistemom, ki obsega encimske in neencimske antioksidante. Prvi vključujejo superoksid dismutazo, askorbinsko kislinsko peroksidazo, glutation reduktazo, peroksidaze in še nekaj drugih encimov, UV-absorbirajoče snovi in nekatera rastlinska barvila, na primer karotenoidi, pa so predstavniki druge skupine antioksidantov.

Selen je mineral, ki jim lahko pri tem pomaga, saj je antioksidant, a njegova vloga pri tem ni še čisto jasna. V odvisnosti od njegove količine lahko deluje kot antioksidant ali prooksidant. Njegovo antioksidativno delovanje lahko poveča aktivnost nekaterih encimov, s tem pomaga uravnati količino reaktivnih kisikovih spojin in poveča strpnost rastline na sevalne stresne razmere. Presežek selena pa lahko povzroči še dodatno proizvodnjo in kopičenje reaktivnih kisikovih spojin in rastlinam še dodatno škoduje.

V diplomski nalogi smo proučevali vpliv ultravijoličnega sevanja in selena na optične lastnosti listov tatarske (*F. tataricum*) in hibridne (*F. hybridum*) ajde. Rastline so rastle v razmerah naravno prisotnega ali znižanega sevanja UV ter ob dodatku ali brez dodatka selena. V laboratoriju smo opravili morfološke ter biokemijske meritve, ki so vključevale meritve specifične listne površine, debeline lista, kutikule, povrhnjice, stebričastega in gobastega mezofila, števila in dolžine rež in trihomov, vsebnosti klorofila *a* in *b*,

karotenoidov, antocianov ter UV-absorbirajočih snovi. Prav tako smo izmerili odbojne in presevne spektre obeh vrst.

Rezultati so pokazali, da naravno prisotno sevanje UV in selen kot samostojna dejavnika na optične lastnosti listov naših dveh vrst nista imela velikega vpliva, kljub temu da sta povzročila nekatere spremembe v morfoloških in biokemijskih lastnostih. Pod vplivom naravno prisotnega sevanja UV se je pri obeh vrstah ajde nekoliko zmanjšala vsebnost klorofila *a* in *b* in nekoliko povečala vsebnost UV-absorbirajočih snovi. Vsebnost antocianov se je pri tatarski ajdi zmanjšala, pri hibridni pa povečala. Pri hibridni se je nekoliko povečala tudi vsebnost karotenoidov. Vrednosti niso bile statistično značilne. Selen je pri tatarski ajdi statistično značilno povečal, pri hibridni pa nekoliko zmanjšal vsebnost klorofilov. Pri tatarski je nekoliko povečal vsebnost karotenoidov in zmanjšal vsebnost antocianov, pri hibridni pa se je vsebnost karotenoidov in antocianov nekoliko zmanjšala. Vsebnost UV-absorbirajočih snovi se je povečala pri obeh vrstah, pri tatarski ajdi so se UV-B absorbirajoče snovi povečale statistično značilno.

Selen je ob naravno prisotnem sevanju UV pri tatarski ajdi statistično značilno povečal vsebnost klorofila *a*, povečala pa se je tudi vsebnost antocianov. To je povzročilo nižjo odbojnost v zelenem delu vidnega območja spektra ter nižjo presevnost v zelenem in rumenem delu. Povečala se je tudi vsebnost klorofila *b*. Prav tako se je vsebnost klorofilov povečala pri hibridni ajdi. Vsebnost karotenoidov se je pri tatarski ajdi statistično značilno povečala. Vsebnost antocianov se je pri tatarski ajdi nekoliko povečala, pri hibridni ajdi pa statistično značilno zmanjšala. Vsebnost UV-B absorbirajočih snovi se je pri obeh vrstah zmanjšala, vsebnost UV-A absorbirajočih snovi pa se je zmanjšala pri tatarski ajdi, pri hibridni pa se je nekoliko povečala.

Sevanje UV ni imelo velikega vpliva na nobeno vrsto ajde, selen pa je na tatarsko vplival bolj pozitivno, na hibridno pa nekoliko negativno. Skupno delovanje obeh dejavnikov je imelo na obe vrsti pozitivne učinke, a so se bolj izrazili pri tatarski ajdi.

8 VIRI

- Allen D.J., Nogués S., Baker N.R. 1998. Ozone depletion and increased UV-B radiation: is there a real threat to photosynthesis? *Journal of Experimental Botany*, 49, 328: 1775-1788
- Baldini E., Facini O., Nerozzi F., Rossi F., Rotondi A. 1997. Leaf characteristics and optical properties of different woody species. *Trees*, 12, 2: 73-81
- 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, 2: 214-223
- Barnes J.D., Cardoso-Vilhena J. 1996. Interactions between electromagnetic radiation and the plant cuticle. V: *Plant cuticles: an integrated functional approach*. G. Kersteins (ed.), Oxford, BIOS Scientific Publishers: 157-174
- Barnes P.W., Flint S.D., Ryel R.J., Tobler M.A., Barkley A.E., Wargent J.J. 2015. Rediscovering leaf optical properties: New insights into plant acclimation to solar UV radiation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 93: 94-100
- Bartley G.E., Scolnik P.A. 1995. Plant carotenoids: pigments for photoprotection, visual attraction and human health. *The Plant Cell*, 7, 7: 1027-1038
- Bavec F., Bavec N. 2015. Predstavitev ajde kot rastline in njenih prednosti v pridelavi. V: *Hrana in prehrana za zdravje. Ajda od njive do zdravja*. Raspor P., Smole Možina S. (eds.). Izola, Fakulteta za vede o zdravju, Inštitut za živila, prehrano in zdravje: 19-28
- Beck C.B. 2005. *An introduction to plant structure and development: plant anatomy for the twenty-first century*. Cambridge, Cambridge University Press: 431 str.

- Beggs C.J., Wellmann E. 1985. Analysis of light-controlled anthocyanin formation in coleoptiles of *Zea mays* L.: The role of UV-B, blue, red and far-red light. *Photochemistry and Photobiology*, 41, 4: 481-486
- Bertalanč R. 2005. Meteorološke meritve. Energija sončnega obsevanja. ARSO (Agencija Republike Slovenije za okolje) – Urad za meteorologijo.
http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/dr%C5%BEavna%20oslu%C5%BEba/Energija_soncnega_obsevanja.pdf (22. 12. 2005)
- Bieza K., Lois R. 2001. An Arabidopsis mutant tolerant to lethal ultraviolet-B levels shows constitutively elevated accumulation of flavonoids and other phenolics. *Plant Physiology*, 126, 3: 1105-1115
- Billings W.D., Morris R.J. 1951. Reflection of visible and infrared radiation from leaves of different ecological groups, *American Journal of Botany*, 38, 5: 327-331
- Bonafaccia G., Marocchini M., Kreft I. 2003. Composition and technological properties of the flour and bran from common and tartary buckwheat. *Food Chemistry*, 80, 1: 9-15
- Booij-James I.S., Dube S.K., Jansen M.A.K., Edelman M., Mattoo A.K. 2000. Ultraviolet-B radiation impacts light-mediated turnover of the photosystem II reaction center heterodimer in Arabidopsis mutants altered in phenolic metabolism. *Plant Physiology*, 124, 3: 1275-1284
- Bornman J.F., Vogelmann T.C. 1991. Effect of UV-B radiation on leaf optical properties measured with fibre optics. *Journal of Experimental Botany*, 42, 4: 547-554
- Bowler C., Van Montagu M., Inze D. 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43: 83-116

- Brandt K., Giannini A., Lercari B. 1995. Photomorphogenic responses to UV radiation III: a comparative study of UV-B effects on anthocyanin and flavonoid accumulation in wild-type and *aurea* mutant of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Photochemistry and Photobiology*, 62, 6: 1081-1087
- Breznik B., Gaberščik A., Germ M., Kreft I. 2005a. The combined effects of enhanced UV-B radiation and selenium on common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) habitus. *Fagopyrum*, 22: 83-87
- Breznik B., Germ M., Gaberščik A., Kreft I. 2005b. Combined effects of elevated UV-B radiation and the addition of selenium on common (*Fagopyrum esculentum* Moench) and tartary (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.) buckwheat. *Photosynthetica*, 43, 4: 583-589
- Breznik B., Germ M., Gaberščik A., Kreft I. 2004. The combined effects of elevated UV-B radiation and selenium on Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) habitus. *Fagopyrum*, 21: 59-64
- Breznik B., Germ M., Gaberščik A., Kreft I. 2005c. Combined effects of elevated UV-B radiation and the addition of selenium on common (*Fagopyrum esculentum* Moench) and tartary (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.) buckwheat. *Photosynthetica*, 43, 4: 583-589
- Britt A.B. 1996. DNA damage and repair in plants. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 47: 75–100
- Britton G. 1995. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *The FASEB Journal*, 9, 15: 1551-1558
- Burger J., Edwards G.E. 1996. Photosynthetic efficiency, and photodamage by UV and visible radiation, in red versus green leaf *Coleus* varieties. *Plant Cell Physiology*, 37, 3: 395–399

- Caldwell M.M. 1968. Solar ultraviolet radiation as an ecological factor for alpine plants. *Ecological Monographs*, 38, 3: 243-268
- Caldwell M.M., Bornman J.F., Ballaré C.L., Flint S.D., Kulandaivelu G. 2007. Terrestrial ecosystems, increased solar ultraviolet radiation and interactions with other climatic change factors. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 6, 3: 252-266
- Caldwell M.M., Flint S.D., Searles P.S. 1994. Spectral balance and UV-B sensitivity of soybean: a field experiment. *Plant, Cell & Environment*, 17, 3: 267-276
- Caldwell M.M., Gold W.G., Harris G., Ashurst C.W. 1983a. A modulated lamp system for solar UV-B (280-320 nm). Supplementation studies in the field. *Photochemistry and Photobiology*, 37, 4: 479-485
- Caldwell M.M., Robberecht R., Flint S.D. 1983b. Internal filters: Prospects for UV-acclimation in higher plants. *Physiologia Plantarum*, 58, 3: 445-450
- Carter G.A., Knapp A.K. 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany*, 88, 4: 677-684
- Castro K.L., Sanchez-Azofeifa G.A. 2008. Changes in spectral properties, chlorophyll content and internal mesophyll structure of senescing *Populus balsamifera* and *Populus tremuloides* leaves. *Sensors*, 8, 1: 51-69
- Cen Y.P., Bornman J.F. 1990. The response of bean plants to UV-B radiation under different irradiances of background visible light. *Journal of Experimental Botany*, 41, 11: 1489-1495
- Chalker-Scott L. 1999. Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses. *Photochemistry and Photobiology*, 70, 1: 1-9

- Chandrasekharan R. 2005. Optical properties of leaves. PHY 598 OS, Final Report.
<http://www.docstoc.com> (28. 1. 2013): 1-15 str.
- Clark J.B., Lister G.R. 1975. Photosynthetic action spectra of trees. II. The relationship of cuticle structure to the visible and ultraviolet spectral properties of needles from four coniferous species. *Plant Physiology*, 55, 2: 407-413
- Close D.C., Beadle C.L. 2003. The ecophysiology of foliar anthocyanin. *The Botanical Review*, 69, 2: 149-161
- Close D.C., Davies N.W., Beadle C.L. 2001. Temporal variation of tannins (galloylglucoses), flavonols and anthocyanins in leaves of *Eucalyptus nitens* seedlings: implications for light attenuation and antioxidant activities. *Australian Journal of Plant Physiology*, 28, 4: 269-278
- Day T.A. 1993. Relating UV-B radiation screening effectiveness of foliage to absorbing-compound concentration and anatomical characteristics in a diverse group of plants. *Oecologia*, 95, 4: 542-550
- de Oliveira I.R.W.Z., Fernandes S.C., Vieira I.C. 2006. Development of a biosensor based on gilo peroxidase immobilized on chitosan chemically crosslinked with epichlorohydrin for determination of rutin. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41, 2: 366-372
- de Pascual-Teresa S., Sanchez-Ballesta M.T. 2008. Anthocyanins: from plant to health. *Phytochemistry Reviews*, 7, 2: 281-299
- Dermastia M. 2007. Pogled v rastline. Ljubljana, Nacionalni inštitut za biologijo: 237 str.
- Ehleringer J. 1981. Leaf absorptances of Mohave and Sonoran desert plants. *Oecologia*, 49, 3: 366-370

- Ellis D.R., Salt D.E. 2003. Plants, selenium and human health. *Current Opinion in Plant Biology*, 6, 3: 273-279
- Fang Z., Bouwkamp J.C., Solomos T. 1998. Chlorophyllase activities and chlorophyll degradation during leaf senescence in non-yellowing mutant and wild type of *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of Experimental Botany*, 49, 320: 503-510
- Feng R., Wei C., Tu S. 2013. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany*, 87: 58-68
- Fesenko I.N., Fesenko N.N. 2010. *Fagopyrum hybridum*: a process of the new buckwheat crop development. Proceedings of the 11th International symposium on buckwheat, Orel, Russia, Kartush: 308-313
- 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
- Filella I., Serrano L., Serra J., Peñuelas J. 1995. Evaluating wheat nitrogen status with canopy reflectance indices and discriminant analysis. *Crop Science*, 35, 5: 1400-1405
- Foyer C.H., Descourvières P., Kunert K.J. 1994. Protection against oxygen radicals: an important defense mechanism studied in transgenic plants. *Plant Cell & Environment*, 17, 5: 507-523
- Franceschi V.R. 2001. Calcium oxalate in plants. *Trends in Plant Science*, 6, 7: 331
- Franceschi V.R., Horner H.T. Jr. 1980. Calcium oxalate crystals in plants. *The Botanical Review*, 46, 4: 361-427
- Frohnmeier H., Staiger D. 2003. Ultraviolet-B radiation-mediated responses in plants. Balancing damage and protection. *Plant Physiology*, 133, 4: 1420-1428

- Fukshansky L., Remisowsky A.M.V., McClendon J., Ritterbusch A., Richter T., Mohr H. 1993. Absorption spectra of leaves corrected for scattering and distributional error: A radiative transfer and absorption statistics treatment. *Photochemistry and Photobiology*, 57, 3: 538-555
- Gaberščik A., Jones A., Jansen M. 2015. Ultravijolično sevanje – pomemben dejavnik v življenju rastlin. *Proteus: mesečnik za poljudno naravoslovje*, 77, 8: 365-370
- Gaberščik A., Vončina M., Trošt T., Germ M., Björn L.O. 2002. Growth and production of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) treated with reduced, ambient and enhanced UV-B radiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 66, 1: 30-36
- Gates D.M., Keegan H.J., Schleter J.C., Weidner V.R. 1965. Spectral properties of plants. *Applied Optics*, 4, 1: 11-20
- Gausman H.W., Allen W.A., Wiegand C.L. 1972. Plant factors affecting electromagnetic radiation. Westlaco, Soil and Water Conservation Research Division: 41 str.
- Gausman H.W., Rodriguez R.R., Escobar D.E. 1975. Ultraviolet radiation reflectance, transmittance and absorptance by plant leaf epidermises. *Agronomy Journal*, 67, 5 : 720-724
- Germ M., Kreft I., Osvald J. 2005. Influence of UV-B exclusion and selenium treatment on photochemical efficiency of photosystem II, yield and respiratory potential in pumpkins (*Cucurbita pepo* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 43, 5: 445-448
- Germ M., Osvald J. 2005. Selenium treatment affected respiratory potential in *Eruca sativa*. *Acta agriculturae Slovenica*, 85, 2: 329-335
- Germ M., Stibilj V. 2007. Selenium and plants. *Acta agriculturae Slovenica*, 89, 1: 65-71

- Germ M., Stibilj V., Kreft I. 2007. Metabolic importance of selenium for plants. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 1, 1: 91-97
- Gitelson A.A., Merzlyak M.N., Chivkunova O.B. 2001. Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. *Photochemistry and Photobiology*, 74, 1: 38-45
- Golob A., Germ M., Kreft I., Zelnik I., Kristan U., Stibilj V. 2016. Selenium uptake and Se compounds in Se-treated buckwheat. *Acta Botanica Croatica*, 75, 1: 17-24
- 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
- Gould K.S., Quinn B.D. 1999. Do anthocyanins protect leaves of New Zealand native species from UV-B? *New Zealand Journal of Botany*, 37, 1: 175-178
- Grant L. 1987. Diffuse and specular characteristics of leaf reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 22, 2: 309-322
- Grant L., Daughtry C.S.T, Vanderbilt V.C. 1993. Polarized and specular reflectance variation with leaf surface features. *Physiologia Plantarum*, 88, 1: 1-9
- Greenberg B.M., Wilson M.I., Huang X.D., Duxbury C.L., Gerhardt K.E., Gensemer R.W. 1997. The effects of ultraviolet-B radiation on higher plants. V: Plants for environmental studies. Wang W., Gorsuch J.W., Hughes J.S. (eds.). New York, CRC Press: 1-36
- Guruprasad K.N., Bhattacharjee S., Kataria S., Yadav S., Tiwari A., Baroniya S., Rajiv A., Mohanty P. 2007. Growth enhancement of soybean (*Glycine max*) upon exclusion of UV-B and UV-B/A components of solar radiation: characterization of photosynthetic parameters in leaves. *Photosynthesis Research*, 94, 2: 299-306

- Hahlbrock K., Scheel D. 1989. Physiology and molecular biology of phenylpropanoid metabolism. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40: 347-369
- Harborne J.B. 1986. Nature, distribution and function of plant flavonoids. *Progress in Clinical and Biological Research*, 213: 15-24
- Harborne J.B., Baxter H. 1999. *The handbook of natural flavonoids*. Vol. 1-2. New York, John Wiley & Sons: 1800 str.
- Hartikainen H., Xue T.L. 1999. The promotive effect of selenium on plant growth as triggered by ultraviolet irradiation. *Journal of Environmental Quality*, 28, 4: 1372-1375
- Hartikainen H., Xue T., Piironen V. 2000. Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. *Plant and Soil*, 225, 1: 193-200
- Hectors K., Prinsen E., De Coen W., Jansen M.A.K., Guisez Y. 2007. *Arabidopsis thaliana* plants acclimated to low dose rates of ultraviolet B radiation show specific changes in morphology and gene expression in the absence of stress symptoms. *New Phytologist*, 175, 2: 255-270
- Hegglin M., Shepherd T.G. 2009. Large climate-induced changes in ultraviolet index and stratosphere-to-troposphere ozone flux. *Nature Geoscience*, 2: 687-691
- Heijari J., Kivimäenpää M., Hartikainen H., Julkunen-Tiitto R. 2006. Responses of strawberry (*Fragaria x ananassa*) to supplemental UV-B radiation and selenium under field conditions. *Plant and Soil*, 282, 1: 27-39
- Hollósy F. 2002. Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron*, 33, 2: 179-197

- Kreft S., Štrukelj B., Gaberščik A., Kreft I. 2002. Rutin in buckwheat herbs grown at different UV-B radiation levels: comparison of two UV spectrophotometric and an HPLC method. *Journal of Experimental Botany*, 53, 375: 1801-1804
- Jansen M.A.K., Gaba V., Greenberg B.M. 1998. Higher plants and UV-B radiation: balancing damage, repair and acclimation. *Trends in Plant Science*, 3, 4: 131-135
- Johanson U., Gehrke C., Björn L.O., Callaghan T.V., Sonesson M. 1995. The effects of enhanced UV-B radiation on a subarctic health ecosystem. *Ambio*, 24, 2: 106-111
- Jorgensen R. 1994. The genetic origins of biosynthesis and light-responsive control of the chemical UV screen of land plants. V: *Genetic engineering of plant secondary metabolism*. Ellis B.E., Kuroki G.W., Stafford H.A. (eds.), New York, Plenum Press: 179–192
- Kakani V.G., Reddy K.R., Zhao D., Sailaja K. 2003. Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review. *Agricultural and Forest Meteorology*, 120, 1-4: 191-218
- Kataria S., Guruprasad K.N. 2012. Solar UV-B and UV-A/B exclusion effects on intraspecific variations in crop growth and yield of wheat varieties. *Field Crop Research*, 125: 8-13
- Kataria S., Guruprasad K.N., Ahuja S., Singh B. 2013. Enhancement of growth, photosynthetic performance and yield by exclusion of ambient UV components in C3 and C4 plants. *Journal of Photochemistry and Photobiology B, Biology*, 127: 140-152
- Kataria S., Jajoo A., Guruprasad K.N. 2014. Impact of increasing ultraviolet-B (UV-B) radiation on photosynthetic processes. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 137: 55-66
- Khare M., Guruprasad K.N. 1993. UV-B-induced anthocyanin synthesis in maize regulated by FMN and inhibitors of FMN photoreactions. *Plant Science*, 91, 1: 1-5

- Klančnik K., Mlinar M., Gaberščik A. 2012. Heterophylly results in a variety of »spectral signatures« in aquatic plant species. *Aquatic Botany*, 98, 1: 20-26
- Klančnik K., Pančič M., Gaberščik A. 2014. Leaf optical properties in amphibious plant species are affected by multiple leaf traits. *Hydrobiologia*, 737, 1: 121-130
- Knox J.P., Dodge A.D. 1985. Singlet oxygen and plants. *Phytochemistry*, 24, 5: 889–896
- Kreft I. 1995. Ajda. Ljubljana, ČZD Kmečki glas: 112 str.
- Kreft S., Štrukelj B., Gaberščik A., Kreft I. 2002. Rutin in buckwheat herbs grown at different UV-B radiation levels: comparison of two UV spectrophotometric and an HPLC method. *Journal of Experimental Botany*, 53, 375: 1801-1804
- Landry L.G., Chapple C.C.S., Last R.L. 1995. Arabidopsis mutants lacking phenolic sunscreens exhibit enhanced ultraviolet-B injury and oxidative damage. *Plant Physiology*, 109, 4: 1159-1166
- Larcher W. 2003. *Physiological Plant Ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. 4th ed. New York, Springer: 513 str.
- Lee D.W., Graham R. 1986. Leaf optical properties of rainforest sun and extreme shade plants. *American Journal of Botany*, 73, 8: 1100-1108
- 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, 1: 70-77
- Lesjak J. 2011. Medvrstno križanje pri navadni ajdi (*Fagopyrum esculentum* Moench) in tatarski ajdi (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.). Diplomski projekt. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 20 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, 2: 463-472
- Lichtenthaler H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148: 350-382
- Lichtenthaler H.K., Buschmann C. 2001a. Extraction of photosynthetic tissues: chlorophylls and carotenoids. V: *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. New York, Wiley & Sons: F.4.2.1-F.4.2.6
- Lichtenthaler H.K., Buschmann C. 2001b. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterisation by UV-VIS. V: *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. New York, Wiley & Sons: F.4.3.1-F.4.3.8
- Liew O.W., Chong P.C.J., Li B., Asundi A.K. 2008. Signature Optical Cues: Emerging Technologies for Monitoring Plant Health. *Sensors*, 8, 5: 3205-3239
- Lila M.A. 2004. Plant pigments and human health. V: *Plant pigments and their manipulation*. Davies K. (ed.) Oxford, Annual Plant Reviews, CRC Press/Blackwell, 14: 248-274
- Lin Z.F., Ehleringer J. 1983. Epidermis effects on spectral properties of leaves of four herbaceous species. *Physiologia Plantarum*, 59, 1: 91-94
- Mackerness S.A.H. 2000. Plant responses to ultraviolet-B (UV-B: 280-320 nm) stress: what are the key regulators? *Plant Growth Regulation*, 32, 1: 27-39
- Mandić A., Sedej I., Sakač M., Mišan A. 2013. Nutritivni i funkcionalni potencial heljde. *Hrana i ishrana*, 54: 24-30

- McClure J.W. 1975. Physiology and functions of flavonoids. V: The Flavonoids. Harborne J.B., Mabry T.J., Mabry H. (eds.). London, Chapman & Hall Ltd: 970-1055
- Mičetić-Turk D., Dolinšek J., Ornik J., Šikić Pogačar M. 2015. Celiakija kot izziv za razvoj brezglutenskih živil. V: Hrana in prehrana za zdravje. Ajda od njive do zdravja. Raspor P., Smole Možina S. (eds.). Izola, Fakulteta za vede o zdravju, Inštitut za živila, prehrano in zdravje: 85-94
- Mittler R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science, 7, 9: 405-410
- Modic M., Furlan S. 2015. Ne-fermentirani proizvodi iz ajde: Testenine. V: Hrana in prehrana za zdravje. Ajda od njive do zdravja. Raspor P., Smole Možina S. (eds.). Izola, Fakulteta za vede o zdravju, Inštitut za živila, prehrano in zdravje: 73-82
- Moran J.A., Mitchell A.K., Goodmanson G., Stockburger K.A. 2000. Differentiation among effects of nitrogen fertilization treatments on conifer seedlings by foliar reflectance: a comparison of methods. Tree Physiology, 20, 16: 1113-1120
- Moss R.A., Loomis W.E. 1952. Absorption spectra of leaves. I. The visible spectrum. Plant physiology, 27, 2: 370-391
- 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
- Ntefidou M., Manetas Y. 1996. Optical properties of hairs during the early stages of leaf development in *Platanus orientalis*. Australian Journal of Plant Physiology, 23, 4: 535-538
- Olsson L.C., Veit M., Borneman J.F. 1999. Epidermal transmittance and phenolic composition in leaves of atrazine-tolerant and atrazine-sensitive cultivars of *Brassica napus* grown under enhanced UV-B radiation. Physiologia Plantarum, 107, 3: 259-266

- Pearman G.I. 1966. The reflection of visible radiation from leaves of some western Australian species. *Australian Journal of Biological Sciences*, 19, 1: 97-104
- Petroni K., Tonelli C. 2011. Recent advances on the regulation of anthocyanin synthesis in reproductive organs. *Plant Science*, 181, 3: 219-229
- Pietrini F., Massacci A. 1998. Leaf anthocyanin content changes in *Zea mays* L. grown at low temperature: Significance for the relationship between the quantum yield of PS II and the apparent quantum yield of CO₂ assimilation. *Photosynthesis Research*, 58, 3: 213-219
- Rabideau G.S., French C.S., Holt A.S. 1946. The absorption and reflection spectra of leaves, chloroplast suspensions and chloroplast fragments as measured in an Ulbricht sphere. *American Journal of Botany*, 33, 10: 769-777
- Rabinowitch E. 1951. *Photosynthesis and related processes*. Vol. 2, 1. New York, Interscience publishers: 632 str.
- Raspor in Smole Možina, 2015. Zbiranje uporabnih novitet raziskovalnih projektov za prenos v prakso: Izzivi in pasti. V: *Hrana in prehrana za zdravje. Ajda od njive do zdravja*. Raspor P., Smole Možina S. (eds.). Izola, Fakulteta za vede o zdravju, Inštitut za živila, prehrano in zdravje: 73-82
- Reddy K.R., Singh S.K., Koti S., Kakani V.G., Zhao D., Gao W., Reddy V.R. 2013. Quantifying the effects of corn growth and physiological responses to ultraviolet-B radiation for modeling. *Agronomy Journal*, 105, 5: 1367-1377
- Reicosky D.A., Hanover J.W. 1978. Physiological effects of surface waxes. I. Light reflectance for glaucous and nonglucous *Picea pungens*. *Plant Physiology*, 62, 1: 101-104

- Rice-Evans C., Miller N., Paganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*, 2, 4: 152-159
- Richardson A.D., Duigan S.P., Berlyn G.P. 2002. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist*, 153, 1: 185-194
- Robberecht R. 1989. Environmental photobiology. V: Smith K.C. (ed.). *The Science of Photobiology*. New York, Plenum Press: 135-154
- Robberecht R., Caldwell M.M. 1983. Protective mechanisms and acclimation to solar ultraviolet-B radiation in *Oenothera stricta*. *Plant, Cell & Environment*, 6, 6: 477-485
- Roleda M.Y., Wiencke C., Hanelt D. 2006. Thallus morphology and optical characteristics affect growth and DNA damage by UV radiation in juvenile Arctic *Laminaria* sporophytes. *Planta*, 223, 3: 407-417
- Ros J., Tevini M. 1995. Interaction of UV-radiation and IAA during growth of seedlings and hypocotyl segments of sunflower. *Journal of Plant Physiology*, 146, 3: 295-302
- Rozema J., Chardonens A., Tosserams M., Hafkenscheid R., Bruijnzeel S. 1997b. Leaf thickness and UV-B absorbing pigments of plants in relation to an elevational gradient along the Blue Mountains, Jamaica. *Plant Ecology*, 128: 150-159
- Rozema J., van de Staaij J., Björn L.O., Caldwell M. 1997. UV-B as an environmental factor in plant life: stress and regulation. *Trends in Ecology & Evolution*, 12, 1: 22-28
- Sakač M. 2015. Tehnološka svojstava heljde kao funkcionalnog sastojka u pekarskim i brašneno-konditorskim proizvodima. V: *Hrana in prehrana za zdravje. Ajda od njive do zdravja*. Raspor P., Smole Možina S. (eds.). Izola, Fakulteta za vede o zdravju, Inštitut za živila, prehrano in zdravje: 51-62

- Sakač M., Sedej I., Mandić A., Mišan A. 2012. Heljda – sirovina za proizvodnjo funkcionalne hrane. Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu, Institut za prehrambene tehnologije u Novom Sadu: 357 str.
- Sancar A. 1994. Structure and function of DNA photolyase. *Biochemistry*, 33, 1: 2-9
- Santos-Buelga C., Mateus N., De Freitas V. 2014. Anthocyanins. Plant pigments and beyond. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62, 29: 6879-6884
- Schürhoff P. 1908. Ozellen und Lichtkondensoren bei einigen Peperomien. *Beibefle zum Botanisches Zentralblatt*, 23: 14-26
- Searles P.S., Flint S.D., Caldwell M.M. 2001. A meta-analysis of plant field studies simulating stratospheric ozone depletion. *Oecologia*, 127, 1: 1-10
- Seppänen M., Turakainen M, Hartikainen H. 2003. Selenium effects on oxidative stress in potato. *Plant Science*, 165, 2: 311-319
- Shanker A.K. 2006. Countering UV-B stress in plants: Does selenium have a role? *Plant and Soil*, 282, 1: 21-26
- Sharma P., Jha A.B., Dubey R.S., Pessarakli M. 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*: 1-26
- Sims D.A., Gamon J.A. 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, 81, 2-3: 337-354
- Sinclair T.R., Hoffer R.M., Schreiber M.M. 1971. Reflectance and internal structure of leaves from several crops during a growing season. *Agronomy Journal*, 63, 6: 864-868

- Singh S., Mishra S., Kumari R., Agrawal S.B. 2009. Response of ultraviolet-B and nickel on pigments, metabolites and antioxidants of *Pisum sativum* L. *Journal of Environmental Biology*, 30, 5: 677-684
- Sinha R.P., Häder D.-P. 2002. UV-induced DNA damage and repair: a review. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 1, 4: 225-236
- Slaton M.R., Hunt E.R. Jr., Smith W.K. 2001. Estimating near-infrared leaf reflectance from leaf structural characteristics. *American Journal of Botany*, 88, 2: 278-284
- Smith A.M., Coupland G., Dolan L., Harberd N., Jones J., Martin C., Sablowski R., Amey A. 2010. *Plant Biology*. New York, Garland Science: 664 str.
- Smrkolj P., Germ M., Kreft I., Stibilj V. 2006a. Respiratory potential and Se compounds in pea (*Pisum sativum* L.) plants grown from Se-enriched seeds. *Journal of Experimental Botany*, 57, 14: 3595-3600
- Smrkolj P., Stibilj V. 2004. Determination of selenium in vegetables by hydride generation atomic fluorescence spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 512, 1: 11-17
- Smrkolj P., Stibilj V., Kreft I., Germ M. 2006b. Selenium species in buckwheat cultivated with foliar addition of Se (VI) and various levels of UV-B radiation. *Food Chemistry*, 96, 4: 675-681
- Stafford H.A. 1991. Flavonoid evolution: an enzymatic approach. *Plant Physiology*, 96, 3: 680-685
- Stahl W., Sies H. 2003. Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine*, 24, 6: 345-351
- Stapleton A.E. 1992. Ultraviolet radiation and plants: Burning questions. *The Plant Cell*, 4, 11: 1353-1358

- Stapleton A.E., Walbot V. 1994. Flavonoids can protect maize DNA from the induction of ultraviolet radiation damage. *Plant Physiology*, 105, 3: 881–889
- Taiz L., Zeiger E., Møller I.M., Murphy A.S. 2015. *Plant physiology and development*. 6th ed. Sunderland, Sinauer Associates: 761 str.
- Takahashi A., Takeda K., Ohnishi T. 1991. Light-induced anthocyanin reduces the extent of damage to DNA in UV-irradiated *Centaurea cyanus* cells in culture. *Plant and Cell Physiology*, 32, 4: 541–547
- Tašner L., Lipovnik I. 2015. Tehnologija in tveganja v primarni predelavi ajde. V: *Hrana in prehrana za zdravje. Ajda od njive do zdravja*. Raspor P., Smole Možina S. (eds.). Izola, Fakulteta za vede o zdravju, Inštitut za živila, prehrano in zdravje: 29-38
- Terashima I., Saeki T. 1983. Light environment within a leaf. I. Optical properties of paradermal sections of *Camellia* leaves with special reference to difference in the optical properties of palisade and spongy tissues. *Plant & Cell Physiology*, 24, 8: 1493-1501
- Teramura A.H. 1983. Effects of ultraviolet-B radiation on the growth and yield of crop plants. *Physiologia Plantarum*, 58, 3: 415–427
- Thomas D.A., Barber H.N. 1974. Studies on leaf characteristics of a cline of *Eucalyptus urnigera* from Mount Wellington, Tasmania. I. Water repellency and the freezing of leaves. *Australian Journal of Botany*, 22, 3: 501-512
- Timberlake C.F., Henry B.S. 1986. Plant pigments as natural food colours. *Endeavour*, 10, 1: 31-36
- Vogelmann T.C. 1993. Plant tissue optics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 44: 231-251

- Woolley J.T. 1971. Reflectance and transmittance of light by leaves. *Plant Physiology*, 47, 5: 656-662
- Xiong F.S., Day T.A. 2001. Effect of solar ultraviolet-B radiation during springtime ozone depletion on photosynthesis and biomass production of antarctic vascular plants. *Plant Physiology*, 125, 2: 738-751
- Xue T., Hartikainen H. (2000). Association of antioxidative enzymes with the synergistic effect of selenium and UV irradiation in enhancing plant growth. *Agricultural and Food Science in Finland*, 9: 177-186
- 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, 2: 179-191
- Young A.J. 1991. The photoprotective role of carotenoids in higher plants. *Physiologia Plantarum*, 83, 4: 702-708

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem celotni komisiji. Prof. dr. Alenki Gaberščik za mentorstvo, nasvete, vzpodbude, razumevanje in prijaznost, prof. dr. Mateji Germ za strokovni pregled diplomskega dela in prijetno vzdušje med opravljanjem laboratorijskih meritev ter predsednici komisije prof. dr. Katarini Vogel-Mikuš za hiter pregled in statistične popravke.

Zahvaljujem se staršem za finančno in moralno podporo ter potrpežljivost.

Hvala prijateljici Heleni, da je ves čas verjela vame in me vzpodbujala. Hvala tudi Matevžu za pomoč in vse odgovore na moja statistična vprašanja.

Prav tako se za statistično pomoč zahvaljujem tehničnemu sodelavcu Draganu Abramcu, za pomoč pri laboratorijskem delu pa Katji Klančnik.

Hvala vsem mojim študijskim prijateljicam, da smo ena drugi popestrile (predvsem zadnja) študijska leta in vedno našle razlog za pozitivnost in humor. Hvala tudi vsem sorodnikom za vzpodbudne besede.

In ne nazadnje, hvala »višjim silam« za energijo, da sem lahko vztrajala na tej poti in bila sama sebi največja podpora.

PRILOGE

Priloga A1: Morfološke lastnosti listov tatarske ajde

	T_0_0 n = 7	T_Se_0 n = 8	T_0_UV n = 8	T_Se_UV n = 8
Debelina lista (μm)	181 \pm 26,95 ab	212 \pm 31,76 b	175 \pm 24,46 a	203 \pm 15,54 b
Debelina zg. kutikule (μm)	1,65 \pm 0,27	1,67 \pm 0,30	1,82 \pm 0,17	1,65 \pm 0,31
Debelina sp. kutikule (μm)	1,79 \pm 0,22	1,75 \pm 0,14	1,83 \pm 0,20	1,74 \pm 0,25
Debelina zg. povrhnjice (μm)	24,2 \pm 3,11	27,9 \pm 4,24	25,2 \pm 5,69	26,1 \pm 2,96
Debelina sp. povrhnjice (μm)	23,6 \pm 2,68	25,2 \pm 2,67	23,4 \pm 2,54	23,4 \pm 2,55
Debelina stebr. tkiva (μm)	72,2 \pm 14,44	89,8 \pm 17,67	69,8 \pm 12,59	90,1 \pm 11,73
Debelina gobast. tkiva (μm)	61,1 \pm 12,67 ab	69,5 \pm 9,95 a	56,6 \pm 12,82 b	63,4 \pm 9,94 ab
Gostota rež na zg. p. (mm^{-2})	50,0 \pm 22,54	55,33 \pm 8,06	58,11 \pm 22,30	76,1 \pm 31,76
Gostota rež na sp. p. (mm^{-2})	190 \pm 49,30	184 \pm 30,61	210 \pm 56,32	192 \pm 59,12
Dolžina rež na zg. povrh. (μm)	27,9 \pm 2,83	28,7 \pm 3,12	27,7 \pm 4,19	30,4 \pm 3,19
Dolžina rež na sp. povrh. (μm)	28,2 \pm 3,02	28,5 \pm 1,60	27,9 \pm 2,33	29,1 \pm 1,48
Gostota trih. na zg. p. (mm^{-2})	1,35 \pm 1,70	0,589 \pm 0,71	0,654 \pm 0,92	0,850 \pm 1,01
Gostota trih. na sp. p. (mm^{-2})	0,673 \pm 0,89	0,458 \pm 0,71	0,327 \pm 0,92	0,589 \pm 0,81
Dolžina trih. na zg. povrh. (μm)	137 \pm 31,18 n=2	109 \pm 10,84 n=3	113 \pm 18,33 n=4	105 n=1
Dolžina trih. na sp. povrh. (μm)	125 n=1	122 \pm 4,41 n=2	121 \pm 9,00 n=3	ni podatka
SLA (cm^2/mg)	0,393 \pm 0,06 a	0,313 \pm 0,04 ab	0,372 \pm 0,06 ab	0,285 \pm 0,06 b
Vsebnost vode (g)	0,0724 \pm 0,02	0,0793 \pm 0,02	0,101 \pm 0,09	0,0762 \pm 0,03
Delež vode (%)	82,85 \pm 1,09	82,2 \pm 1,81	82,8 \pm 3,00	80,5 \pm 4,34

Priloga A2: Morfološke lastnosti listov hibridne ajde

	H_0_0 n = 7	H_Se_0 n = 8	H_0_UV n = 6	H_Se_UV n = 8
Debelina lista (μm)	191,18 \pm 29,70	193 \pm 21,69	203 \pm 21,12	217 \pm 23,27
Debelina zg. kutikule (μm)	1,70 \pm 0,22	1,68 \pm 0,20	1,83 \pm 0,15	1,72 \pm 0,14
Debelina sp. kutikule (μm)	1,76 \pm 0,14	1,74 \pm 0,08	1,83 \pm 0,21	1,64 \pm 0,15
Debelina zg. povrhnjice (μm)	26,0 \pm 5,22	25,0 \pm 2,31	24,0 \pm 3,18	28,8 \pm 4,56
Debelina sp. povrhnjice (μm)	20,2 \pm 3,50	22,1 \pm 2,67	21,3 \pm 2,58	23,8 \pm 4,77
Debelina stebr. tkiva (μm)	79,1 \pm 15,64	80,0 \pm 10,50	86,8 \pm 13,21	94,2 \pm 15,54
Debelina gobast. tkiva (μm)	65,1 \pm 8,81	65,5 \pm 10,17	70,1 \pm 10,87 *	70,2 \pm 8,19
Gostota rež na zg. p. (mm^{-2})	42,4 \pm 18,81	51,1 \pm 16,48	60,0 \pm 19,45	50,9 \pm 25,68
Gostota rež na sp. p. (mm^{-2})	189 \pm 54,73	184 \pm 21,61	176 \pm 44,08	163 \pm 18,18
Dolžina rež na zg. povrh. (μm)	32,2 \pm 2,74	33,5 \pm 3,86	32,8 \pm 1,20	35,6 \pm 3,14
Dolžina rež na sp. povrh. (μm)	33,9 \pm 3,66 *	34,2 \pm 3,18 *	34,4 \pm 3,09 *	36,1 \pm 3,12 *
Gostota trih. na zg. p. (mm^{-2})	2,77 \pm 3,35 A	3,01 \pm 3,89 A	0,959 \pm 1,02 A	0,065 \pm 0,18 B*
Gostota trih. na sp. p. (mm^{-2})	0,523 \pm 0,80	0,719 \pm 1,08	0,262 \pm 0,44	0,065 \pm 0,18
Dolžina trih. na zg. povrh. (μm)	101 \pm 7,67 n=4	129 \pm 35,81 n=5	121 \pm 10,29 n=4	123 \pm 21,20 n=6
Dolžina trih. na sp. povrh. (μm)	113 \pm 10,92 n=4	141 \pm 34,91 n=3	127 \pm 0,51 n=3	148 \pm 28,66 n=5
SLA (cm^2/mg)	0,328 \pm 0,07	0,326 \pm 0,06	0,339 \pm 0,07	0,317 \pm 0,05
Vsebnost vode (g)	0,0728 \pm 0,02	0,0768 \pm 0,03	0,0765 \pm 0,02	0,071 \pm 0,04
Delež vode (%)	83,1 \pm 1,91	83,2 \pm 2,37	84,2 \pm 1,21	83,7 \pm 2,44

Priloga B1: Biokemijske lastnosti listov tatarske ajde

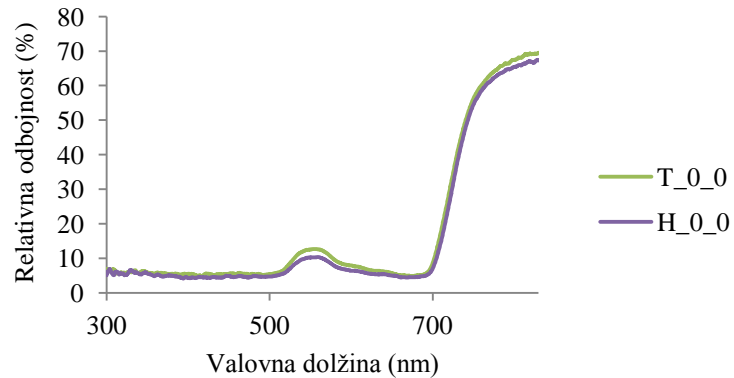
	T_0_0 n = 7	T_Se_0 n = 8	T_0_UV n = 8	T_Se_UV n = 8
Klorofil <i>a</i> (mg/cm ²)	0,0206 ± 0,0061 a	0,0275 ± 0,0015 b	0,0196 ± 0,0048 a	0,0287 ± 0,0044 b
Klorofil <i>a</i> (mg/g)	7,80 ± 2,09	8,62 ± 1,49	7,31 ± 2,27	8,16 ± 1,81
Klorofil <i>b</i> (mg/cm ²)	0,00984 ± 0,0036 a	0,0150 ± 0,0029 b	0,0110 ± 0,0039 ab	0,0153 ± 0,0038 b
Klorofil <i>b</i> (mg/g)	3,72 ± 1,31	4,71 ± 1,15	4,13 ± 1,75	4,33 ± 1,16
Karotenoidi (mg/cm ²)	0,00580 ± 0,0013 ab	0,00775 ± 0,0006 ab	0,00568 ± 0,0013 a	0,00798 ± 0,0011 b
Karotenoidi (mg/g)	2,19 ± 0,45	2,44 ± 0,45	2,12 ± 0,64	2,26 ± 0,42
Antociani (rel. enota/cm ²)	0,665 ± 0,25	0,626 ± 0,08	0,499 ± 0,08	0,719 ± 0,20
Antociani (rel. enota/g)	253 ± 95,92	193 ± 24,54	184 ± 19,09	204 ± 62,86
UV-A abs. snovi (rel. enota/g)	7640 ± 1731,49	8060 ± 1677,57	7820 ± 1743,42	5890 ± 841,68
UV-A abs. snovi (rel. enota/cm ²)	20,0 ± 3,72	26,0 ± 5,30	21,6 ± 6,01	21,0 ± 3,30
UV-B abs. snovi (rel. enota/g)	3790 ± 957,68 ab	4050 ± 932,47 a	3920 ± 786,10 ab	2920 ± 489,55 b
UV-B abs. snovi (rel. enota/cm ²)	9,93 ± 2,04 b	13,0 ± 2,71 a	10,8 ± 2,80 ab	10,4 ± 1,74 b

Priloga B2: Biokemijske lastnosti listov hibridne ajde

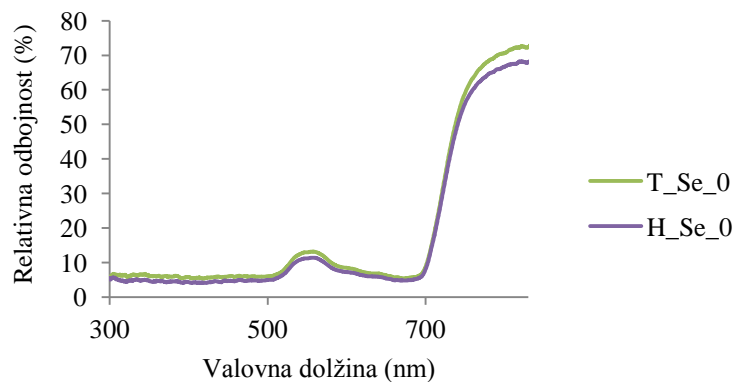
	H_0_0 n = 7	H_Se_0 n = 8	H_0_UV n = 6	H_Se_UV n = 8
Klorofil <i>a</i> (mg/cm ²)	0,0335 ± 0,0050 *	0,0298 ± 0,0081	0,0300 ± 0,0065 *	0,0314 ± 0,0038
Klorofil <i>a</i> (mg/g)	11,05 ± 3,26	9,48 ± 2,66	9,90 ± 1,92	9,98 ± 2,25
Klorofil <i>b</i> (mg/cm ²)	0,0181 ± 0,0038 *	0,0138 ± 0,0048	0,0143 ± 0,0058	0,0161 ± 0,0039
Klorofil <i>b</i> (mg/g)	6,00 ± 2,14	4,36 ± 1,55	4,76 ± 1,78	5,21 ± 1,76
Karotenoidi (mg/cm ²)	0,00960 ± 0,0012 *	0,00873 ± 0,0022	0,00863 ± 0,0014 *	0,00878 ± 0,0010
Karotenoidi (mg/g)	3,15 ± 0,83	2,76 ± 0,63	2,89 ± 0,59	2,79 ± 0,60
Antociani (rel. enota/cm ²)	0,686 ± 0,16	0,629 ± 0,13	0,748 ± 0,10 *	0,608 ± 0,08
Antociani (rel. enota/g)	222 ± 61,12 AB	204 ± 55,80 AB	247 ± 27,69 A*	190 ± 31,09 B
UV-A abs. snovi (rel. enota/g)	6700 ± 591,77	7500 ± 1303,94	6840 ± 1154,60	7020 ± 1247,25
UV-A abs. snovi (rel. enota/cm ²)	21,2 ± 4,70	23,5 ± 4,78	21,2 ± 5,76	22,7 ± 5,43
UV-B abs. snovi (rel. enota/g)	3340 ± 292,06	3780 ± 647,75	3600 ± 369,16	3440 ± 506,40
UV-B abs. snovi (rel. enota/cm ²)	10,5 ± 2,07	11,8 ± 2,22	11,0 ± 2,12	11,2 ± 2,58

Priloge A1, A2, B1 in B2 predstavljajo povprečne vrednosti in standardne deviacije morfoloških in biokemijskih lastnosti listov tatarske in hibridne ajde. Črke pri vrednostih pomenijo statistično značilne razlike v posamezni lastnosti med obravnavanji znotraj vrste (a,b – tatarska ajda; A,B – hibridna ajda), zvezdica (*) pa pomeni statistično značilno razliko v posamezni lastnosti med ajdama pri enakem obravnavanju.

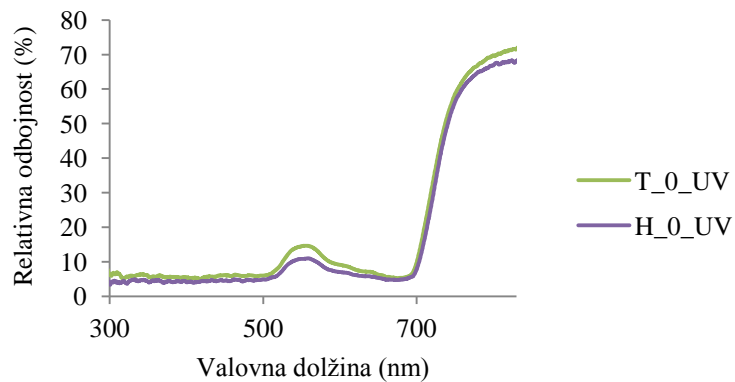
Priloga C1: Relativna odbojnost tatarske in hibridne ajde pri znižanem sevanju UV in brez dodatka selena



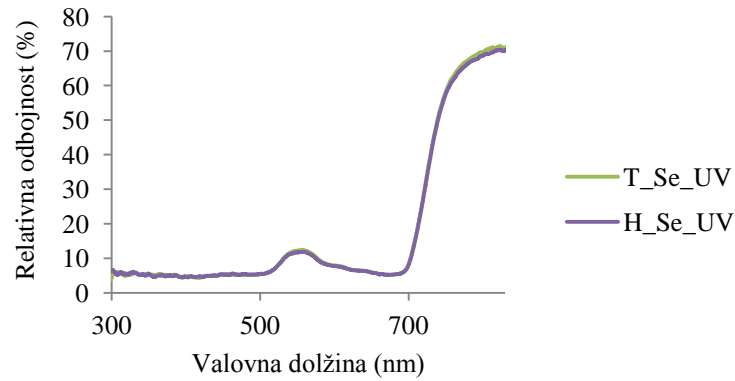
Priloga C2: Relativna odbojnost tatarske in hibridne ajde pri znižanem sevanju UV in z dodatkom selena



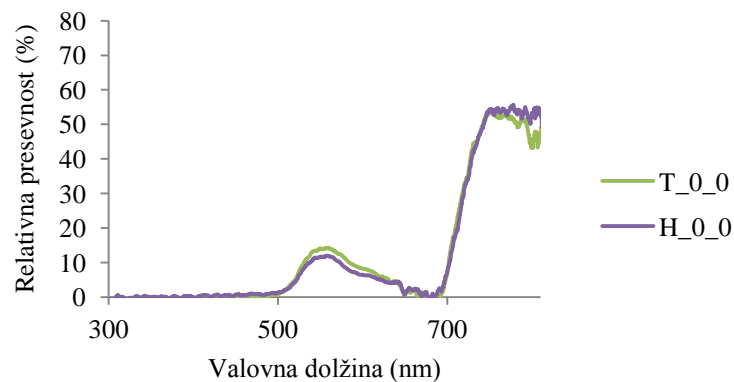
Priloga C3: Relativna odbojnost tatarske in hibridne ajde pri naravno prisotnem sevanju UV in brez dodatka selena



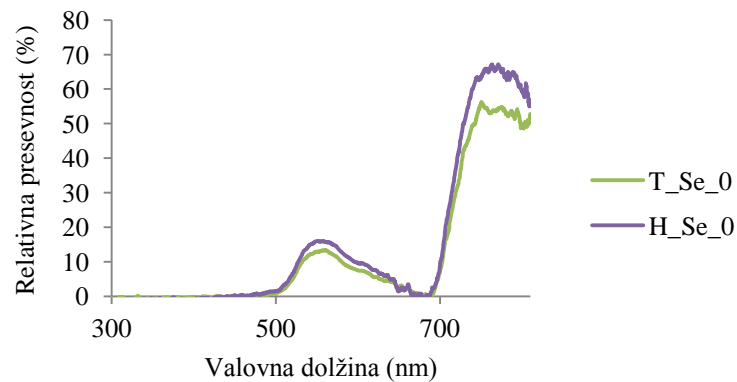
Priloga C4: Relativna odbojnost tatarske in hibridne ajde pri naravno prisotnem sevanju UV in z dodatkom selena



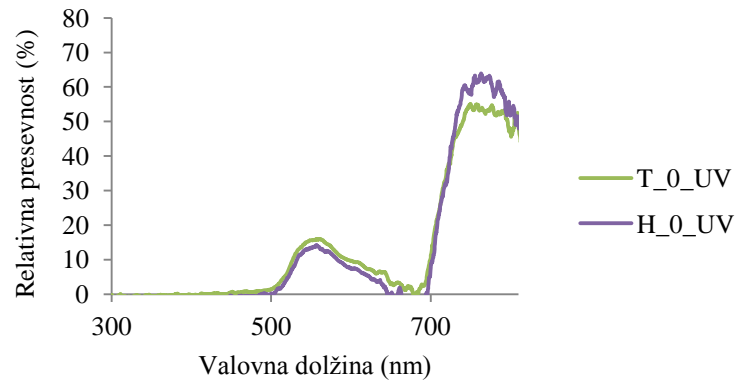
Priloga C5: Relativna presevnost tatarske in hibridne ajde pri znižanem sevanju UV in brez dodatka selena



Priloga C6: Relativna presevnost tatarske in hibridne ajde pri znižanem sevanju UV in z dodatkom selena



Priloga C7: Relativna presevnost tatarske in hibridne ajde pri naravno prisotnem sevanju UV in brez dodatka selena



Priloga C8: Relativna presevnost tatarske in hibridne ajde pri naravno prisotnem sevanju UV in z dodatkom selena

