

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Urša PFAJFAR

SEZONSKA DINAMIKA AKTIVNOSTI NAVADNE CIKLAME
(*Cyclamen purpurascens*)

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

SEASONAL DYNAMIK OF ACTIVITY OF CYCLAMEN
(*Cyclamen purpurascens*)

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2007

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo na Katedri za Ekologijo in varstvo okolja Oddelka za biologijo Biotehniške fakultete v Ljubljani. Poskus je bil izveden v Botaničnem vrtu v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je za mentorja imenovala prof. dr. Alenko Gaberščik in za somentorja doc. dr. Jožeta Bavcona. Za recenzenta je komisija imenovala prof. dr. Marino Dermastia.

Mentorica: prof. dr. Alenka Gaberščik

Somentor: doc. dr. Jože Bavcon

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: doc. dr. Nejc Jogan

Član: prof. dr. Marina Dermastia

Član: prof. dr. Alenka Gaberščik

Član: doc. dr. Jože Bavcon

Datum zagovora: 20.12.2007

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Podpisana se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Urša Pfajfar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	581.5:581.1:582.918(043.2)=163.6
KG	navadna ciklama (<i>Cyclamen purpurascens</i> Mill.)/UV-B sevanje/sezonska aktivnost/sonce/senca/UV absorbirajoče snovi/fotosintezni pigmenti/antociani
AV	PFAJFAR, Urša
SA	GABERŠČIK, Alenka, ment./BAVCON, Jože, soment.
KZ	1000 Ljubljana, SLO, Večna pot 111
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI	2007
IN	SEZONSKA DINAMIKA AKTIVNOSTI NAVADNE CIKLAME (<i>Cyclamen purpurascens</i>)
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	XI, 41 str., 1 pregl., 22 sl., 4 pril., 43 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	V diplomskem delu smo proučevali sezonsko dinamiko aktivnosti navadne ciklame (<i>Cyclamen purpurascens</i> Mill.). Ugotavljali smo vpliv dveh različnih rastišč, sončnega (SO) in senčnega (SE) na aktivnost in biokemijske parametre rastlin. Proučevali smo tudi vpliv UV-B sevanja (reducirano, naravno in povišano) na rastline. Najvišjo neto fotosintezo smo izmerili v avgustovski in septembrski meritvi, ko je bila izmerjena tudi največja vsebnost klorofilov. Transpiracija je bila najvišja v poletnih meritvah, najnižja pa v jesenskih meritvah. Najvišjo dejansko fotokemično učinkovitost so imele ciklame v jesenskih meritvah. Vsebnost UV absorbirajočih snovi se med sezono ni spreminjala. Antocianov so imele rastline več v jesenskih meritvah, manj pa v novembrski meritvi in poletnih meritvah. Povečano UV-B sevanje je pozitivno vplivalo na produkcijo UV absorbirajočih snovi, negativno na produkcijo klorofilov in razmerje klorofilov a/b. Opazili smo negativen vpliv UV-B sevanja na produkcijo antocianov. Neto fotosinteza se je večinoma pod vplivom povečanega UV-B sevanja zmanjševala. Bistvenega vpliva UV-B sevanje na fotokemično učinkovitost ni imelo. Pozitivno pa je UV-B sevanje vplivalo na transpiracijo. Primerjava med SO in SE rastlinami ni pokazala velikih morfoloških razlik. Listi pri SE rastlinah so bili tanjši. Sončna lega je pozitivno vplivala na produkcijo UV absorbirajočih snovi. Pozitiven vpliv sončne lege se je pokazal tudi pri vsebnosti antocianov v jesenskih mesecih. SE rastline z rdečo obarvanostjo spodnje površine lista so imele značilno več antocianov in manj UV absorbirajočih snovi. Razmerje klorofilov a/b ni pokazalo statistično značilnih razlik med SO in SE rastlinami. Prav tako nismo opazili vpliva sončnih in senčnih razmer na neto fotosintezo.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	581.5:581.1:582.918(043.2)=163.6
CX	Cyclamen (<i>Cyclamen purpurascens</i> Mill.)/UV-B radiation/seasonal activity/sun/shade/UV absorbing compounds/chlorophyll /anthocyanins
AU	PFAJFAR, Urša
AA	GABERŠČIK, Alenka, supervisor/BAVCON, Jože,
PP	1000 Ljubljana, SLO, Večna pot 111
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of biology
PY	2007
TI	Seasonal dynamic of activity of cyclamen (<i>Cyclamen purpurascens</i>)
DT	Graduation Thesis (University studies)
NO	XI, 41 str., 1 pregl., 22 sl., 4 pril., 43 vir.
LA	sl
AL	sl/en
AB	Graduation thesis discusses seasonal dynamic of activity of cyclamen (<i>Cyclamen purpurascens</i> Mill.). We studied the activity and selected biochemical parameters in plants thriving at sunny (SO) and shady plots (SE). We also examined the effects of UV-B radiation on sample plants. The highest photosynthesis was measured in summer and autumn measurements when the highest content of chlorophyll was also detected. Transpiration was the highest in summer and the lowest in autumn measurements. The highest actual photochemical efficiency of PS II in cyclamen was detected in autumn. During the whole year the UV absorbing substances remained more or less the same. Anthocyanins content was higher in autumn and lower in summer sampling. Higher UV-B radiation has positive influence on UV absorbing compounds production and negative influence on chlorophyll production and a/b ratio. Negative influence of UV-B radiation was obtained on anthocyanins production and on photosynthesis, but no influence on Yield and Fv/Fm was detected. There was positive influence on transpiration. We obtained no morphological differences between plants grown at sunny and shady plots. Shade leaves were thinner. Sunny location has positive influence on UV absorbing compounds production and on anthocyanins content in autumn sampling. Shade leaves with pronounced red color of lower leaf surface produced more anthocyanins and less UV absorbing compounds. a/b ratio and photosynthesis did not show any differences between plants grown at sunny and shady plots .

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG.....	X
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XI
1 UVOD.....	1
2 PREGLED OBJAV.....	2
2.1 SEVANJE.....	2
2.1.1 Sevalno okolje	2
2.1.2 UV sevanje	2
2.1.2.1 UV-B sevanje.....	2
2.1.2.2 Ozon.....	3
2.1.2.3 Vpliv UV-B sevanja na rastline.....	3
2.2 RASTLINSKI SESTOJI.....	4
2.2.1 Sevanje v sestoji	4
2.2.2 Prilagoditve sončnih in senčnih rastlin	4
2.2.2.1 Morfološke prilagoditve.....	5
2.2.2.2 Vsebnost pigmentov.....	5
2.2.2.3 Fiziološke prilagoditve.....	5
3 MATERIAL IN METODE	6
3.1 PREDMET RAZISKAV	6
3.1.1 Ciklame.....	6
3.1.1.1 Navadna ciklama (<i>Cyclamen purpurascens</i> Mill.).....	6
3.2 IZVEDBA POSKUSA	8
3.2.1 Okoljski parametri	10
3.3 BIOKEMIJSKE MERITVE	11
3.3.1 Vsebnost antocianov.....	11
3.3.2 Vsebnost UV absorbirajočih snovi	12
3.3.3 Vsebnost fotosinteznih pigmentov.....	12
3.4 EKOFIZIOLOŠKE MERITVE	13
3.4.1 Neto fotosinteza.....	13
3.4.2 Transpiracija.....	13
3.4.3 Fotokemična učinkovitost.....	13
3.5 MORFOLOŠKE MERITVE	13
3.6 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV	14
4 REZULTATI.....	15
4.1 BIOKEMIJSKE LASTNOSTI	15
4.1.1 Vsebnost UV absorbirajočih snovi	15
4.1.1.1 Vsebnost UV-A abs. snovi na enoto suhe mase oz. enoto površine	15
4.1.1.2 Vsebnost UV-B abs. snovi na enoto suhe mase oz. enoto površine	15
4.1.2 Vsebnost klorofila a in b in razmerje klorofilov a/b na enoto suhe mase	20
4.1.2.1 Vsebnost klorofila a na enoto suhe mase.....	20
4.1.2.2 Vsebnost klorofila b na enoto suhe mase	20
4.1.2.3 Razmerje klorofilov a/b.....	20

4.1.3	Vsebnost antocianov na enoto suhe mase	24
4.2	EKOFIZIOLOŠKE MERITVE	26
4.2.1	Fotosinteza	26
4.2.2	Transpiracija	26
4.2.3	Fotokemična učinkovitost	26
4.3	MORFOLOŠKE MERITVE	29
5	RAZPRAVA	30
5.1	VPLIV SEZONE	30
5.1.1	Biokemijski parametri	30
5.1.2	Fiziološki parametri	30
5.2	VPLIV UV-B SEVANJA	31
5.2.1	Vsebnost UV absorbirajočih snovi	31
5.2.2	Vsebnost fotosinteznih pigmentov	31
5.2.3	Vsebnost antocianov	31
5.2.4	Neto fotosinteza	31
5.2.5	Transpiracija	32
5.2.6	Fotokemična učinkovitost	32
5.3	VPLIV SONČNIH IN SENČNIH RAZMER	32
5.3.1	Vsebnost UV absorbirajočih snovi	32
5.3.2	Vsebnost fotosinteznih pigmentov	32
5.3.3	Vsebnost antocianov	33
5.3.4	Neto fotosinteza	33
5.3.5	Transpiracija	33
5.3.6	Fotokemična učinkovitost	33
5.3.7	Morfološke meritve	33
6	SKLEPI	35
7	POVZETEK	36
8	VIRI	38

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Rezultati statistične analize vpliva sezone na vsebnost klorofilov, UV-abs. pigmentov, antocianov, vrednosti transpiracije, fotosinteze in fotokemične učinkovitosti pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih razmerah pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame. Črke označujejo statistično značilne razlike (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; n=5).....Priloga D

KAZALO SLIK

Slika 1: Navadna ciklama (<i>Cyclamen purpurascens</i> Mill.).....	7
Slika 2: Rastišče na osojnim pobočju Mengeške koče (a), rastišče na prisojnim pobočju Rašice (b), zasaditev rastlin v lončkih (c).	9
Slika 3. Dnevni meteorološki podatki za rastno sezono 2005 in 2006. Prikazane so dnevne vrednosti povprečne temperature (T), trajanje sončnega obsevanja in količina padavin. Križci označujejo dneve, ko smo izvajali meritve. Vir podatkov: ARSO.	10
Slika 4: Različna obarvanost spodnje površine lista ciklame: zgoraj rdeča (SERD), v sredini svetlo zelena (SESV) in spodaj srednja (SESR) obarvanost.	11
Slika 5. Vsebnost UV-A abs. snovi na enoto suhe mase (a) oz. na površino (b) lista ciklame (<i>Cyclamen purpurascens</i>) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev (n=5, avg ± SD). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; n=5).	16
Slika 6. Vsebnost UV-A abs. snovi na enoto suhe mase (a) oz. na površino (b) lista ciklame (<i>Cyclamen purpurascens</i>) pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame, pri rastlinah zraslih v senčnih razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev (n=5, avg ± SD). Stolpci označeni z različnimi črkami so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; n=5).	17
Slika 7. Vsebnost UV-B abs. snovi na enoto suhe mase (a) oz. na površino (b) lista ciklame (<i>Cyclamen purpurascens</i>) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev (n=5, avg ± SD). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; n=5).	18
Slika 8. Vsebnost UV-B abs. snovi na enoto suhe mase (a) oz. na površino (b) lista ciklame (<i>Cyclamen purpurascens</i>) pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame, pri rastlinah zraslih v senčnih razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev (n=5, avg ± SD). Stolpci označeni z različnimi črkami so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; n=5).	19
Slika 9. Vsebnost klorofila a (a) in klorofila b (b) na enoto suhe mase lista ciklame (<i>Cyclamen purpurascens</i>) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev (n=5, avg ± SD). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; n=5)..	21
Slika 10. Vsebnost klorofila a (a) in klorofila b (b) na enoto suhe mase lista ciklame (<i>Cyclamen purpurascens</i>) pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame, pri rastlinah zraslih v senčnih razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev (n=5, avg ± SD). Stolpci označeni z različnimi črkami so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; n=5).	22
Slika 11. Razmerje med klorofilom a in b v listih ciklame (<i>Cyclamen purpurascens</i>) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev (n=5, avg ± SD). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; n=5).	23
Slika 12. Razmerje med klorofilom a in b v listih ciklame (<i>Cyclamen purpurascens</i>) pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame, pri rastlinah zraslih v senčnih razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev (n=5, avg ± SD). Stolpci označeni z različnimi črkami so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; n=5).	23

- Slika 13. Vsebnost antocianov na enoto suhe mase lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, avg $\pm$ SD). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$). 24
- Slika 14. Vsebnost antocianov na enoto suhe mase lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame, pri rastlinah zraslih v senčnih razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, avg $\pm$ SD). Stolpci označeni z različnimi črkami so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$). 25
- Slika 15. Neto fotosinteza (a) in transpiracija (b) pri ciklami (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, avg $\pm$ SD). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$). 27
- Slika 16. Potencialna (Fv/Fm) (a) in dejanska (Yield) (b) fotokemična učinkovitost navadne ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, avg $\pm$ SD). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$). 28
- Slika 17. Morfološke meritve celega lista ter število rež (a) in meritve prečnega prereza lista (b) pri navadni ciklami (*Cyclamen purpurascens*) v senčnih razmerah pri rdeči (SERD) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame in sončnih (SO) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, avg $\pm$ SD). Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$). 29
- Slika 18. Vsebnost klorofila a (a) in klorofila b (b) na enoto površine lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, avg $\pm$ SD). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$). Priloga A
- Slika 19. Vsebnost klorofila a (a) in klorofila b (b) na enoto površine lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame, pri rastlinah zraslih v senčnih razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, avg $\pm$ SD). Stolpci označeni z različnimi črkami so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$). Priloga A
- Slika 20. Vsebnost antocianov na enoto površine lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, avg $\pm$ SD). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$). Priloga B
- Slika 21. Vsebnost antocianov na enoto površine lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame, pri rastlinah zraslih v senčnih razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, avg $\pm$ SD). Stolpci označeni z različnimi črkami so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$). Priloga B
- Slika 22. Neto fotosinteza pri navadni ciklami (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, avg $\pm$ SD). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$). Priloga C

KAZALO PRILOG

Priloga A. Vsebnost klorofila a in b na površino lista ciklame

Priloga B. Vsebnost antocianov na površino lista ciklame

Priloga C. Neto fotosinteza na površino lista ciklame

Priloga D. Statistična analiza vpliva sezone

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ANOVA	analiza variance
F_v/F_m	potencialna fotokemična učinkovitost PSII
LSD	(least significant difference) post hoc statistični test
PAR	fotosintezno aktivno sevanje (400-700 nm)
PSII	fotosistem II
SE	rastline senčnega rastišča
SERD	rastline senčnega rastišča z rdečo obarvanostjo spodnje površine lista ciklame
SESR	rastline senčnega rastišča s srednjo obarvanostjo spodnje površine lista ciklame
SESV	rastline senčnega rastišča s svetlo zeleno obarvanostjo spodnje površine lista ciklame
SO	rastline sončnega rastišča
UV	ultravijolično sevanje
UV-	zmanjšana intenziteta UV-B sevanja in naravna količina UV-A sevanja
UV0	naravna intenziteta UV-B sevanja in povečana intenziteta UV-A sevanja
UV+	povečana intenziteta UV-B in UV-A sevanja
UV-A	ultravijolični del svetlobnega spektra z valovno dolžino 315-400 nm
UV-B	ultravijolični del svetlobnega spektra z valovno dolžino 280-315 nm
UV-B _{BE}	biološko aktivno UV-B sevanje
UV-C	ultravijolični del svetlobnega spektra z valovno dolžino 100-280 nm
YIELD	dejanska fotokemična učinkovitost PSII

1 UVOD

Naše življenje na Zemlji je odvisno od sončne energije. Sončna energija je primarni vir energije za sintezo organskega materiala, regulira razmere za življenje na Zemlji, zagotavlja toploto in poganja kroženje vode.

Za rastline sončna energija ni samo vir energije, ampak tudi stimulacija za razvojne procese in včasih tudi stresni dejavnik (Larcher, 2003). Enega izmed pomembnih stresnih dejavnikov predstavlja UV-B sevanje. Pred UV-B sevanjem nas ščiti ozonska plast, ki se je v drugi polovici dvajsetega stoletja začela tanjšati. Vzrok temu je predvsem povečano onesnaževanje okolja (Björn, 2007).

Rastline poseljujejo različne habitate, ki se med seboj razlikujejo. Te razlike pogojujejo razvoj mnogih prilagoditev. Med drugim se rastline prilagajajo na različne sevalne razmere. Rastlinam senčnih rastišč prilagoditve omogočajo čimboljši izkoristek sevanja, rastlinam sončnih rastišč pa zaščito pred premočnim sevanjem.

Navadna ciklama je zelo zanimiva rastlina. Opazimo jo ponavadi pozno poleti, ko zacveti. Zanimiva je tudi v drugih letnih časih, ko pogled nanjo pritegnejo pisani listi. Barvni vzorci listov ciklame so v naravi zelo variabilni, še posebej v Sloveniji, o čemer poročajo različni avtorji (Grey-Wilson, 2002; Bavcon, 2006). Razlikujejo se v vzorcih na zgornji strani lista in rdeče obarvanosti spodnje strani lista. Ciklama je rastlina podrasti, se pravi senčnih okolij, najdemo pa jo tudi na bolj sončnih legah.

Namen diplomske naloge je bilo proučiti sezonsko dinamiko aktivnosti navadne ciklame (*Cyclamen purpurascens* Mill.). Ugotavljali smo vpliv dveh različnih rastišč, sončnega in senčnega ter vpliv UV-B sevanja na rastline. Zanimala nas je tudi obarvanost spodnje površine lista in vsebnost različnih pigmentov.

Predpostavljamo, da se bodo pokazale razlike med dvema različnima rastiščema, sončnim in senčnim. Ciklama je rastlina bolj senčnih rastišč, zato pričakujemo, da je bolj prilagojena na nižje svetlobne intenzitete. Pričakujemo največjo aktivnost v poznem poletju oz. jesenskem času, saj tudi v naravi takrat opazimo največjo rast teh rastlin. Predpostavljamo, da se bo pokazal vpliv UV-B sevanja na poskusne rastline. Predvidevamo, da bo obarvanost spodnje površine lista ciklame vplivala na vsebnost pigmentov.

2 PREGLED OBJAV

2.1 SEVANJE

2.1.1 Sevalno okolje

Povprečno 47 % sončnega sevanja doseže zemeljsko površje. Več kot polovico sevanja se odbije nazaj v vesolje že v višji atmosferi. Sevanje, ki doseže zemeljsko površje se imenuje globalno sevanje in sestoji iz neposrednega in razpršenega (difuznega) sevanja (Larcher, 2003).

Biosfero doseže sevanje z valovnimi dolžinami od 290 nm do približno 10^5 nm. Povprečno 45 % sončne energije je sevanje valovne dolžine 380-710 nm, to je fotosintezno aktivno sevanje (PAR). Rastline absorbirajo različno količino PAR, kar je odvisno od strukture listov rastline. Sevanje nižjih valovnih dolžin je ultravijolično sevanje (290-400 nm), sevanje valovnih dolžin 750-4000 nm je infrardeče sevanje, sevanje še višjih valovnih dolžin imenujemo dolgovalovno sevanje (4000-100000 nm) (Larcher, 2003).

Rastline so sposobne zaznati kakovost, količino in smer svetlobe. Te informacije porabijo za optimalno rast in razvoj. Svetlobo zaznavajo z različnimi fotoreceptorji, kot so fitokrom, modri fotoreceptorji in UV-B fotoreceptorji. Fotoreceptor fitokrom zaznava rdečo in daljno rdečo svetlobo, modri fotoreceptorji zaznavajo modro in UV-A sevanje, (Batschauer, 1999).

2.1.2 UV sevanje

Ultravijolično sevanje vključuje UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) in UV-C (100-280) sevanje. Zaščitna plast ozona v atmosferi absorbira nekaj UV-A sevanja, večino UV-B sevanja in vse UV-C sevanje. Problem pa predstavlja tanjšanje ozonske plasti, ki ima za posledico povečevanje UV-B sevanja (Schulze in sod., 2005).

2.1.2.1 UV-B sevanje

Na količino UV-B sevanja vplivajo zemljepisna širina, nadmorska višina, letni časi, čas dneva, oblaki, aerosoli, UV absorbirajoči plini in površinski albedo (Madronich in sod., 1998).

Z integracijo vseh akcijskih spektrov UV-B sevanja dobimo skupno količino biološko učinkovitega UV-B sevanja ($UV-B_{BE}$). Ob tanjšanju ozonske plasti najbolj naraste prav škodljivo biološko aktivno sevanje. Povečanje deleža $UV-B_{BE}$ ob zmanjšanju debeline ozonske plasti za 1% imenujemo faktor ojačanja (RAF). RAF nam kaže občutljivost različnih procesov na manjše spremembe ozonske plasti (Madronich in sod., 1998).

2.1.2.2 Ozon

Atmosfera je zelo pomemben del biosfere. Zagotavlja primerno temperaturo za življenje, kisik za dihanje in ščiti pred meteoriti in sevanjem iz vesolja. Pomembna zaščitna komponenta atmosfere je ozon, največ ga nastaja v stratosferi. Ozonska plast ščiti biosfero pred aktivnim UV-B sevanjem (Björn, 2007; Josefsson, 1996).

Ozon nastaja, ko molekularni kisik disociira pod vplivom UV sevanja v dva kisikova atoma, atomarni kisik se nato spaja z molekulami kisika v ozon (O_3 kisikovo molekulo) (Madronich in sod., 1998).

V drugi polovici dvajsetega stoletja se je plast začela občutno zmanjševati. Vzrok temu je povečano onesnaževanje okolja. Kot posledica uničenja ozona nastane ozonska luknja nad Antarktiko (Björn, 2007; Blumthaler in Ambach, 1990; WMO, 1993).

Zaradi vedno večje grožnje okolju so leta 1987 sprejeli Montrealski protokol. Ta naj bi omejil uporabo ozonu škodljivih snovi. Šele v zadnjih letih so opazni manjši učinki na ozonsko plast, vendar je prihodnost zaradi možnih interakcij z globalnim segrevanjem še vedno negotova (Björn, 2007).

2.1.2.3 Vpliv UV-B sevanja na rastline

Povečana absorbcija UV-B sevanja za rastline predstavlja stres. UV-B sevanje je škodljivo za mnoge biokemijske komponente:

- vsi organizmi vsebujejo DNA, ki je pogosta tarča škodljivega sevanja (Björn, 2007; Rozema in sod., 1997).
- UV-B sevanje pri rastlinah pogosto škodljivo vpliva na fotosintezni aparat, pri čemer pride do zmanjšanja fotosinteze (Björn, 2007; Rozema in sod., 1997).
- transpiracija se pod vplivom UV-B sevanja znižuje (Correia in sod., 1999). Posledica UV-B sevanja je zapiranje listnih rež (Negash in Björn, 1986).
- UV-B sevanje negativno vpliva na vsebnost fotosinteznih pigmentov (Bornman in Teramura, 1993).
- membranski lipidi so zelo dovzetni za posredno škodo, ki jo povzročajo prosti radikali, prav tako tudi proteini (Björn in sod., 1999).
- povečano UV-B sevanje vpliva tudi na morfologijo rastlin: spremeni se višina rastlin, dolžina in površina listov se zmanjša, debelina listov pa se poveča. Spremeni se lahko tudi oblika lista (Rozema in sod., 1997).

Organizmi se med seboj razlikujejo v različnih načinih zaščite pred škodljivim UV-B sevanjem. Nekateri se pred sevanjem zaščitijo, drugi imajo boljšo sposobnost popravljalnih mehanizmov že nastale škode. Nepritrjeni organizmi se pred škodljivim sevanjem lahko

umaknejo, medtem ko pritrjenim rastlinam ta možnost zaščite ni na voljo, zato razvijejo različne zaščitne in popravljalne mehanizme (Björn, 2007).

Najpomembnejši zaščitni mehanizmi pred UV-B sevanjem so:

- produkcija UV absorbirajočih pigmentov (Björn, 2007). Različni organizmi proizvajajo različne UV absorbirajoče snovi. Najpomembnejše UV absorbirajoče snovi so flavonoidi (Rozema in sod., 1997). Flavonoidi delujejo poleg tega, da absorbirajo UV-B sevanje, tudi kot antioksidanti, kar še poveča njihovo vlogo pri zaščiti rastlin pred škodljivimi učinki UV sevanja (Bornman in Teramura, 1993).
- kot zaščitni pigment pred UV sevanjem se v listih pojavljajo tudi antociani. Poleg zaščite pred UV sevanjem, predstavljajo tudi zaščito pred herbivori in glivami. Antociane najdemo še v mladih, razvijajočih se listih in jesensko obarvanih listih. Antociani lahko predstavljajo zaščito pri senčnih listih pred sončnimi lisami, ki bi utegnile poškodovati fotosintezni aparat (Close in sod., 2003).
- produkcija sekundarnih metabolitov, kot so lignini in tanini (Rozema in sod., 1997).
- epidermalne in kutikularne strukture odbijejo in razpršijo del UV-B sevanja (Rozema in sod., 1997).
- organizmi so razvili različne DNK popravljalne mehanizme: fotoreaktivacijski encim fotoliza hitro popravlja poškodbe, proces poteče na svetlobi (PAR); ekscizijsko popravljanje je počasnejše, vendar lahko poteka v temi (Rozema in sod., 1997).
- odstranjevanje radikalov s SOD in katalazami. Flavonoidi so tudi vpleteni v proces nevtralizacije radikalov (Rozema in sod., 1997).

2.2 RASTLINSKI SESTOJI

2.2.1 Sevanje v sestoju

Gosti rastlinski sestoji sestavljajo zapleten asimilacijski sistem, sestavljen iz različnih plasti listov, ki se prekrivajo in senčijo. Znotraj sestojev se tvori posebna svetlobna gradiacija. Sevanje prodira v notranjost sestoja na različne načine. Svetloba lahko vstopi kot direktno sevanje skozi plasti drevesnih krošenj oz. gozdnih robov, lahko vstopi kot razpršena svetloba odbita od površine listov oz. površine tal in končno kot prepustna svetloba skozi listno ploskev (Larcher, 2003).

2.2.2 Prilagoditve sončnih in senčnih rastlin

Rastline razvijejo različne vrste prilagoditev na različne svetlobne razmere: funkcionalne prilagoditve, fenotipske in genotipske prilagoditve. Funkcionalne prilagoditve so hitre in reverzibilne (premikanje listov, sledenje soncu, odpiranje in zapiranje cvetov,...),

fenotipske prilagoditve so ponavadi ireverzibilne in počasne (sončni, senčni listi). Evolucijske oz. genotipske prilagoditve determinirajo habitatne prednosti določenih rastlinskih vrst ali rastlinskih ekotipov (Larcher, 2003).

Adaptacija na sončne in senčne habitate znotraj vrste je redkejša kot adaptacija posameznih vrst. Znotrajvrstne raziskave so začeli leta 1960 in so temeljile na primerjavi rastlin nabranih iz sončnih in senčnih habitatih (Gurevitch in sod., 2002).

2.2.2.1 Morfološke prilagoditve

Rastline se prilagajajo na različne svetlobne intenzitete z različnimi morfološkimi lastnostmi. Sončni listi imajo ponavadi manjšo listno površino, večjo debelino lista, torej tudi večjo maso lista na enoto površine (Gurevitch in sod., 2002; Schulze in sod., 2005; Lichtenthaler in sod., 2007). Klichova (2000) je v svoji raziskavi, kjer je primerjala razlike med senčnimi in sončnimi listi ozkolistne oljčice (*Elaeagnus angustifolia*), ugotovila, da se razlikujejo v zgradbi lista. Pri sončnih listih je bil procent mezofila večji kot pri senčnih listih. Gostota rež je pri sončnih listih večja, kot pri senčnih listih (Gurevitch in sod., 2002).

2.2.2.2 Vsebnost pigmentov

Do razlik med senčnimi in sončnimi rastlinami prihaja tudi pri vsebnosti pigmentov v listih. Sončni listi vsebujejo sončni tip kloroplastov, ki so prilagojeni na višje sevanje. Imajo večjo vsebnost klorofilov na enoto površine in višje vrednosti razmerja kl a/b (Lichtenthaler in sod., 2007). Na enoto suhe mase imajo večjo vsebnost klorofilov senčni listi v primerjavi s sončnimi listi (Gurevitch in sod., 2002). Različna intenziteta svetlobe vpliva tudi na samo zgradbo fotosinteznega parenhima rastline. Šibkejša kot je svetlobna intenziteta, slabše je razvit. To opazimo pri senčnih listih. Sončni listi imajo v epidermisu vakuole z zaščitnimi pigmenti, ki ščitijo liste pred preveliko intenziteto sevanja (Schulze in sod., 2005).

Akumulacija antocianov v senčnih listih ščiti pred premočnim sevanjem, na primer sončnimi lisami (Schulze in sod., 2005; Close in sod., 2003).

2.2.2.3 Fiziološke prilagoditve

Sončni in senčni listi se med seboj razlikujejo tudi v fizioloških parametrih. Sončni listi v primerjavi s senčnimi imajo višje vrednosti neto fotosinteze, kot posledica večjega vlaganja v proces fotosinteze (Gurevitch in sod., 2002).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 PREDMET RAZISKAV

3.1.1 Ciklame

Za poskusno rastlino smo si izbrali navadno ciklamo (*Cyclamen purpurascens* Mill.). Ciklame uvrščamo v družino jegličevk (*Primulaceae*). Rod obsega 22 vrst (Grey-Wilson, 2002), v literaturi lahko zasledimo tudi drugačno število vrst (Bailey, 1942; Brickell, 2003). Vrste so razširjene po celotnem Mediteranu, razen v Španiji, Maroku in Egiptu. Izven mediteranskega okolja najdemo dve vrsti (*C. purpurascens* in *C. hederifolium*), ki zasedata osrednjo Evropo. Novo vrsto pa so odkrili tudi v S Somaliji. Vrste imajo različna rastišča, od senčnih do sončnih, čas cvetenja se od vrste do vrste razlikuje (Grey-Wilson, 2002).

Ciklame so dolgoživeče gomoljaste trajnice z letnim ciklom rasti in počitka. Večina vrst najhladnejša obdobja leta preživi pod zemljo v fazi počitka, prav tako poletja ciklame v sredozemskih deželah preživijo v podobni fazi mirovanja. Toploto pomladi ali jeseni pa izkoristijo za rast in razmnoževanje (Grey-Wilson, 2002).

Gomolj ciklame je skladiščni organ, ki preskrbuje rastlino s hrano in vodo. Velikost variira od vrste do vrste (1 - 30 cm). Značilnosti korenin, ki izraščajo iz gomolja, se med vrstami razlikujejo. Gomolji so globlje v tleh, najdemo pa jih tudi na površini ali zagozdene med skalami. Listi ciklam so pritlični, različno oblikovani in obarvani. Ta raznolikost v barvi in obliki listov je nekaj posebnega v družini *Primulaceae*. Listni vzorec je nekakšen prstni odtis vsake rastline (Grey-Wilson, 2002). Obarvana je tudi spodnja površina lista. Obarvanost spodnje površine lista ciklame variira od temno rdeče barve do svetlo zelene barve. O funkciji spodnje obarvanosti povrhnjice še ni veliko znanega (Grimshaw, 1992).

Cvet ciklame je težko zamenjati z drugimi cvetočimi rastlinami. Karakterizirajo ga nazaj zavihani venčni listi. Steblo je vedno enocvetno. Barva cvetov od bele do vijolične se med vrstami razlikuje, prav tako tudi čas cvetenja. Cvetni pecelj se ob razvoju semena zvije v spiralo. Plod je okrogel, ob zrelosti se semena raztresejo naokrog (Grey-Wilson, 2002).

3.1.1.1 Navadna ciklama (*Cyclamen purpurascens* Mill.)

Navadno ciklamo poznamo tudi pod drugimi ljudskimi imeni: bogov korček, bogova žlica, bokalčki, divji virh, hakeljček, japčenk, katanek, kokorik, korček, kozja repica, krešec, kroš, krvavi lisec, kržič, leskovica, planinska vijolica, polnik, soldati, svedati, svinjski oreh, svinjska repa, svinjski grud, svinjski kruh, turki, volčje jabolko, valjavica, zajček, zajčja vuha, zemeljska jabuka (Martinčič – Sušnik, 1961; Kromar, 1979; Petauer, 1993).

Navadna ciklama je zelnata trajnica z gomoljasto koreniko. Korenine izraščajo iz celotne površine gomolja (Grey-Wilson, 2002). Listi so pritlični, srčasti ali ledvičasti, nazobčani, spodaj navadno rdeči, ± zimzeleni (Martinčič in sod., 2007). Novi listi se pojavijo sredi

poletja in takrat začnejo stari listi odmirati. Listi so različno oblikovani, lahko so nazobčani, na zgornji strani lista opazimo različne vzorce obarvanosti. Barva spodnje povrhnjice listov variira od svetlo zelene do temno rdeče obarvanosti (Grey-Wilson, 2002). Steblo je enocvetno, visoko 5-15 cm. Cvetovi so kimasti, venčni listi zavihani in škrlatni (Martinčič in sod., 2007). Cveti od poznega junija do septembra, lahko tudi oktobra (Grey-Wilson, 2002).

Navadna ciklama je široko razširjena evropska vrsta. Najdemo jo od V Francije, Švice, J Nemčije, S Italije do Avstrije, na jug sega preko Slovenije do otoka Krka, na vzhodu pa jo najdemo na Češkem, Slovaškem, Poljskem in v zahodni Madžarski (Grey-Wilson, 2002).

Ciklama raste v listnatih in mešanih gozdovih ter na grušču od nižine do subalpinskega pasu (Martinčič in sod., 2007).

Poznane so strupene snovi, ki jih vsebuje predvsem gomolj. Strupena snov je ciklamin. Pri človeku povzroča bruhanje, drisko, črevesne krče in splav pri nosečnicah. Večje zaužite količine povzročajo hudo zastrupljenje, ki se pogosto konča s smrtjo zaradi ohromitve dihalnega centra. Nekatere živali (npr. svinje) ga brez težav prenašajo ((Martinčič – Sušnik, 1961). Po sušenju ciklamin razpade, zato posušeni gomolji niso strupeni (Kromar, 1979).



Slika 1: Navadna ciklama (*Cyclamen purpurascens* Mill.)

3.2 IZVEDBA POSKUSA

Rastline, ki smo jih uporabili v našem poskusu, smo na terenu nabirali spomladi 2005. Nabirali smo jih na dveh rastiščih, na osojnim pobočju pod Mengeško kočo in prisojnim pobočju Rašice. V Botaničnem vrtu smo vsako rastlino posebej posadili v lonček in postavili na poskusne gredice. Rastline smo redno zalivali in odstranjevali plevel.

Rastline, nabrane na prisojnim rastišču, smo razporedili na sončno gredico (20 rastlin), rastline nabrane na osojnim rastišču pa smo posadili na senčno gredico (20 rastlin) in v 3 skupine (3×30 rastlin) na gredice, ki so bile izpostavljene različnim intenzitetam UV-B sevanja:

- zmanjšani intenziteti UV-B sevanja in naravni količini UV-A sevanja (skupina UV-)
- naravni intenziteti UV-B sevanja in povečani intenziteti UV-A sevanja (skupina UV0)
- povečani intenziteti UV-B in UV-A sevanja (skupina UV+)

Redukcijo UV-B sevanja smo dosegli tako, da smo rastline UV- gojili pod folijo Mylar (2×1,2m), napeto na aluminjast okvir 80 cm nad tlemi. Folija Mylar ne prepušča svetlobe z valovnimi dolžinami krajšimi od 318 nm (UV-B in UV-C).

UV-B sevanje smo dodajali z lučmi Q-Panel UV-B 313 (Cleveland, OH, ZDA). 6 žarnic je bilo nameščenih v aluminjastem okvirju dimenzij 2×1,2 m, 105 cm nad površino tal. Ovili smo jih s filtri iz celuloznega diacetata, ki odrežejo UV-C sevanje. Filtre smo menjavali na štirinajst dni oz. po vsakem močnejšem deževju. Prižiganje in ugašanje luči je nadzorovala ura. Luči so se prižigale okoli poldneva, ko je tudi naravno UV-B sevanje najvišje. Doza dodanega UV-B sevanja je bila odvisna od tega, koliko časa so bile luči prižgane. Doze, ki simulirajo 17% redukcijo ozona, smo izračunali in prilagajali tedensko po računalniškem programu, ki sta ga objavila Bjorn in Murphy (1985), z uporabo generaliziranega akcijskega spektra po Caldwellu (1968).

Kontrolna skupina (UV0) je bila pod enako postavitvijo kot UV+, le da so bili filtri na lučeh Q-Panel UV-B 313 iz folije Mylar. Tako je bila prejeta količina UV-B sevanja blizu naravni, količina dodanega UV-A sevanja pa je bila enaka kot pri rastlinah iz UV+ skupine. Poleg tega smo s tako postavitvijo zagotovili enak vzorec senčenja pri kontrolni in UV+ skupini.

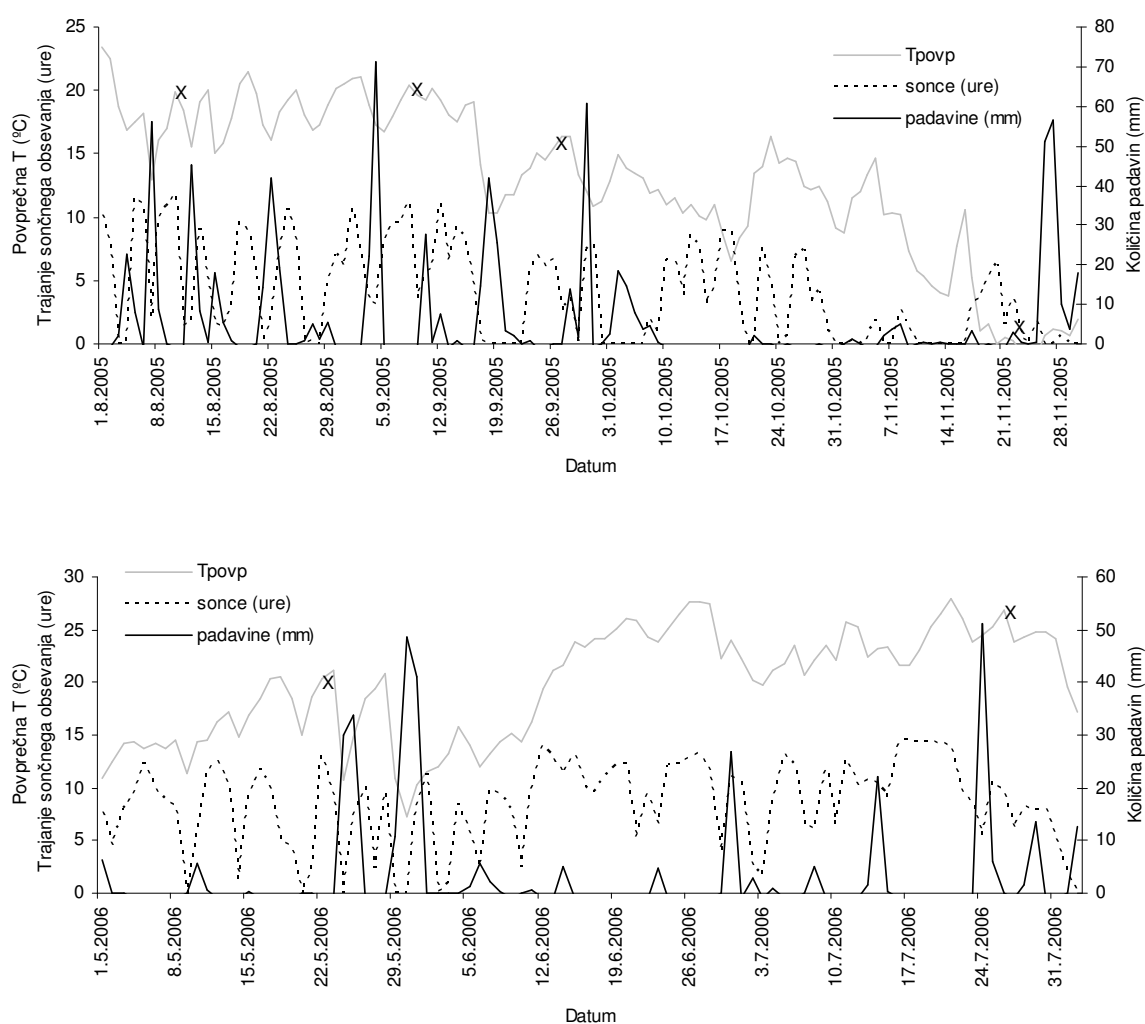


Slika 2: Rastišče na osojnem pobočju pod Mengeško kočo (a), rastišče na prisojnem pobočju Rašice (b), zasaditev rastlin v lončkih, poskus v Botaničnem vrtu v Ljubljani (c).

3.2.1 Okoljski parametri

Podatke o vremenskih spremenljivkah za Ljubljano za čas trajanja poskusa nam je posredoval Urad za meteorologijo Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO). Poskus smo imeli postavljen na prostem, zato je bil odvisen od zunanjih dejavnikov. Postavitev poskusa je trajala od avgusta 2005 do avgusta 2006. Meritve smo izvajali v sončnih dneh okoli 12 h ure. Meteorološki podatki o povprečni temperaturi, trajanju sončnega obsevanja in količini padavin so predstavljeni na sliki 3.

Poletje 2005 je bilo precej deževno. Konec novembra je zapadel sneg, ki je več ali manj ležal do začetka marca, zato smo takrat poskus do pomladi prekinili. Pomlad in poletje 2006 sta bila bolj sončna.



Slika 3. Dnevni meteorološki podatki za rasto sezono 2005 in 2006. Prikazane so dnevne vrednosti povprečne temperature (T), trajanje sončnega obsevanja in količina padavin. Križci označujejo dneve, ko smo izvajali meritve. Vir podatkov: ARSO.

3.3 BIOKEMIJSKE MERITVE

Biokemijske meritve smo opravljali na petih listih iz vsake skupine. V skupini, kjer so rastline rasle v senčnih razmerah, smo si izbrali tri podskupine z različno obarvanostjo spodnje površine lista: rdečo, srednje obarvano in svetlo zeleno spodnjo površino lista (glej slika 4).



Slika 4: Različna obarvanost spodnje površine lista ciklame: zgoraj rdeča (SERD), v sredini svetlo zelena (SESV) in spodaj srednja (SESR) obarvanost.

3.3.1 Vsebnost antocianov

Vsebnost antocianov smo določali spektrofotometrično po Khareju in Guruprasadu (1993). Vzorec lista znane površine ($1,33 \text{ cm}^2$) smo strli v terilnici, ekstrahirali z 10 ml mešanice metanol:klorovodikova kislina (37%) v volumskem razmerju 99:1. Vzorce smo shranili v temi (24 ur, 3-5 °C). S spektrofotometrom MA 9525 (Iskra elektronika, Horjul, Slovenija) smo izmerili ekstinkcijo ekstrakta pri valovni dolžini 530 nm. Vsebnost antocianov smo določili na enoto suhe mase in na enoto površine ($1,33 \text{ cm}^2$). Suho maso vzorca lista smo določili tako, da smo znano površino vzorca lista stehali pred in po 24 h sušenju v sušilniku Sterimatic ST-11 (Instrumentaria, Zagreb) pri 105 °C in tako izračunali suho maso naših vzorcev.

Vsebnost barvil na suho maso lista smo izračunali po enačbah (1) in (2):

$$Ant. = E_{530} \times V_e \times s.m.^{-1} \quad (mg \text{ ant. } g^{-1} \text{ s.m.}) \quad \dots(1)$$

$$Ant. = E_{530} \times V_e \times s.m.^{-1} \quad (mg \text{ ant. } g^{-1} \text{ s.m.}) \quad \dots(2)$$

E ekstinkcija vzorca pri izbrani valovni dolžini
 V_e volumen ekstrakcijskega medija (0,01 L)
s.m. suha masa vzorca (g)

Vsebnost barvil na listno površino (mg/cm^2) smo izračunali tako, da smo v zgornje enačbe (1) in (2) namesto suhe mase vnesli površino vzorca lista ($1,33 \text{ cm}^2$), ki smo ga ekstrahirali.

3.3.2 Vsebnost UV absorbirajočih snovi

Vsebnost UV absorbirajočih snovi smo določali po Caldwellu (1968). Vzorec lista znane površine ($1,33 \text{ cm}^2$) smo strli v terilnici, ekstrahirali z 20 ml mešanice metanol:destilirana voda:klorovodikova kislina (37 %) v volumskem razmerju 79:20:1. Ekstrakte smo shranili v zamrzovalni skrinji do merjenja. Ekstinkcije vzorcev smo merili s spektrofotometrom (Lambda-12, Perkin-Elmer, Norwalk, CT, USA).

Vsebnost UV absorbirajočih snovi na enoto suhe mase smo izračunali po enačbah (3) in (4):

$$\text{UV-A absorbirajoče snovi} = \sum E_{320-400} \times s.m.^{-1} \times V_e^{-1} (\text{rel. enote } g^{-1}) \quad \dots(3)$$

$$\text{UV-B absorbirajoče snovi} = \sum E_{280-320} \times s.m.^{-1} \times V_e^{-1} (\text{rel. enote } g^{-1}) \quad \dots(4)$$

$\sum E$ vsota ekstinkcij vzorca med 320 in 400 nm za UV-A absorbirajoče snovi ter med 280 in 320 nm za UV-B absorbirajoče snovi
 V_e volumen ekstrakcijskega medija (20 ml)
s.m. suha masa vzorca lista (g)

Vsebnost barvil na listno površino (rel. enote/ cm^2) smo izračunali tako, da smo v zgornje enačbe (3) in (4) namesto suhe mase vnesli površino vzorca lista ($1,33 \text{ cm}^2$), ki smo ga ekstrahirali.

3.3.3 Vsebnost fotosinteznih pigmentov

Vsebnost klorofilov a in b smo določali spektrofotometrično po Lichtenthalerju (1987). Vzorec lista znane površine ($1,33 \text{ cm}^2$) smo strli v terilnici, ekstrahirali z 20 ml 100 % acetona in s spektrofotometrom MA 9525 (Iskra elektronika, Horjul, Slovenija) izmerili ekstinkcijo ekstrakta pri valovnih dolžinah 470, 644 in 662 nm. Vsebnost klorofila a in b smo določili na enoto suhe mase in na enoto površine ($1,33 \text{ cm}^2$). Suho maso vzorca lista smo določili tako, da smo znano površino vzorca lista stehali pred in po 24 h sušenju v sušilniku Sterimatic ST-11 (Instrumentaria, Zagreb) pri 105°C in tako izračunali suho maso naših vzorcev.

Vsebnost barvil na suho maso lista smo izračunali po enačbah (5) in (6):

$$Kla = ((11,24 \times E_{662}) - (2,04 \times E_{644})) \times V_e \times s.m.^{-1} (\text{mg kla } g^{-1} \text{ s.m.}) \quad \dots(5)$$

$$Klb = ((20,13 \times E_{644}) - (4,19 \times E_{662})) \times V_e \times s.m.^{-1} (\text{mg klb } g^{-1} \text{ s.m.}) \quad \dots(6)$$

E ekstinkcija vzorca pri izbrani valovni dolžini
 V_e volumen ekstrakcijskega medija (0,02 L)
s.m. suha masa vzorca (g)

Vsebnost barvil na listno površino (mg/cm^2) smo izračunali tako, da smo v zgornje enačbe (5) in (6) namesto suhe mase vnesli površino vzorca lista ($1,33 \text{ cm}^2$), ki smo ga ekstrahirali. Izračunali smo tudi razmerje med količino klorofila a in b v listih.

3.4 EKOFIZIOLOŠKE MERITVE

3.4.1 Neto fotosinteza

Neto fotosintezo smo prvo meritev merili z infrardečim analizatorjem plina LI-6200 (Portable Photosynthesis System, LI-COR Biosciences, Lincoln, Nebraska, USA). Meritve smo izvajali na petih rastlinah iz vsake skupine. Merjeno površino smo prerisali na list papirja in v laboratoriju izmerili površino na ΔT areamtru (Delta-T Image Analysis System DIAS, Delta-T Devices, Burwell, Cambridge, UK), ter jo vnesli v LI-6200. Liste smo stehali pred in po sušenju pri 105°C v sušilniku Sterimatic ST-11. Tako smo dobljene vrednosti preračunali še na suho maso.

Od tretje meritve dalje smo neto fotosintezo merili z Leaf chamber analyser LCA 4 (ADC BioScientific Ltd., England). Naprava je hkrati merila tudi transpiracijo in okoljske razmere. Napravo smo pred meritvami najprej skalibrirali.

3.4.2 Transpiracija

Transpiracijo smo merili od tretje meritve dalje s Leaf chamber analyser LCA 4 (ADC BioScientific Ltd., England).

3.4.3 Fotokemična učinkovitost

Potencialno in dejansko fotokemično učinkovitost fotosistema II smo merili s fluorometrom OS-500 (Opti-Sciences, Tyngsboro, MA, USA). Potencialno fotokemično učinkovitost smo merili po 15 minutnem temotnem adaptiranju listov. Fluorescenco smo ekscitirali s saturacijskim pulzom bele svetlobe ($8000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 0,8 s). Dejansko fotokemično učinkovitost smo merili z odprto ščipalko, ki ni ovirala dostopa dnevni svetlobi. Fluorescenco smo ekscitirali s saturacijskim pulzom bele svetlobe ($9000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 0,8 s). Meritve smo opravili na 5 rastlinah iz vsake skupine.

3.5 MORFOLOŠKE MERITVE

V oktobru 2006 smo pri treh skupinah (SO, SERD, SESV) nabrali 10 listov ciklame s pecljem. Listom smo najprej izmerili dolžino peclja, površino, širino in dolžino (1 in 2) lista. Listne reže smo prešteli s pomočjo odtisov, ki smo jih naredili s prozornim lakom in jih preračunali na mm^2 . Nato smo na 5 listih (3 vzorčna mesta) iz vsake skupine naredili sveže preparate prečnega prereza lista. Tako smo dobili 15 prečnih prerezov na posamezno

skupino, vsak prerez smo izmerili na treh mestih in dobili 45 meritev na skupino. Preparate smo gledali pod 10× povečavo, fotografirali smo jih pod mikroskopom Axioskop 2 MOT (Carl Zeiss, Goettingen, Germany), opremljenim z digitalno kamero Axiocam MRC (Carl Zeiss Vision, Halbergmoos, Germany). Nato smo s pomočjo računalniškega programa AxioVision 3.1 izmerili vse parametre: debelino zg. povrhnjice, palisadnega in gobastega tkiva, sp. povrhnjice in debelino celotnega lista ciklame.

3.6 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV

Podatkom pridobljenih iz različnih eksperimentalnih skupin smo izračunali povprečja in standardne deviacije in rezultate predstavili v grafih.

Rezultate, dobljene v posameznih eksperimentalnih skupinah, smo med seboj primerjali s programom Statgraphics Plus 4.0. V tem programu smo najprej testirali variance s Cochranovim, Bartlettovim in Hartleyevim testom, da smo ugotovili ali so variance primerjanih vzorcev enake ali različne (pri 0,05% tveganju). Značilne razlike smo iskali z ANOVA testom. V primeru, da so se variance značilno razlikovale, smo rezultat preverili še z neparametričnim Kruskal Wallis testom.

Grafično predstavljeni rezultati, ki se med seboj značilno razlikujejo, so označeni z različnimi črkami. Tako so predstavljeni tudi rezultati v preglednicah.

4 REZULTATI

4.1 BIOKEMIJSKE LASTNOSTI

4.1.1 Vsebnost UV absorbirajočih snovi

4.1.1.1 Vsebnost UV-A abs. snovi na enoto suhe mase oz. enoto površine

Količina prejetega UV-B sevanja na prvi dve meritvi ni imela nobenega vpliva. Zadnje tri meritve je količina UV-A abs. snovi statistično značilno naraščala z intenziteto UV-B sevanja. Vsebnost UV-A abs. snovi je bila pri rastlinah sončnega rastišča (SO) višja kot pri rastlinah senčnega rastišča (SE). Rezultati so prikazani na sliki 5.

Primerjava med skupinami z različno obarvano spodnjo površino lista rastlin senčnega rastišča je pokazala, da so imeli pri prvi meritvi SERD listi statistično značilno več UV-A abs. snovi. Pri drugi meritvi med skupinami ni bilo razlik. Od tretje meritve dalje so imeli SESV listi značilno več UV-A abs. snovi (slika 6).

Vsebnost UV-A abs. snovi se je med sezono spreminjala. Najmanj UV-A abs. snovi so imele rastline pri prvi meritvi, največ pa v jesenskih mesecih. Statistično značilne razlike so prikazane v prilogi D.

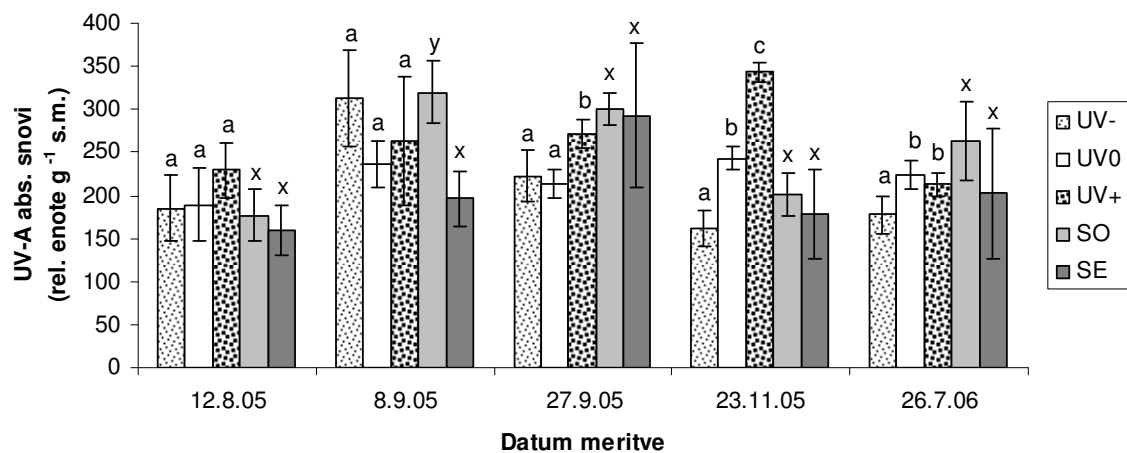
4.1.1.2 Vsebnost UV-B abs. snovi na enoto suhe mase oz. enoto površine

Povečano UV-B sevanje na prvo meritev statistično značilno ni vplivalo. Pri drugi in tretji meritvi je bilo pri skupini z zmanjšanim UV-B (pri tretji meritvi tudi pri UV+ skupini) sevanjem statistično značilno več UV-B abs. snovi. Povečano UV-B sevanje je statistično značilno pozitivno vplivalo na povečanje UV-B abs. snovi pri četrti meritvi. Pri zadnji meritvi je bilo značilno največ UV-B abs. snovi pri kontrolni skupini. Največ UV-B abs. snovi je bilo v povprečju pri SO rastlinah. Statistično značilna razlika se je pri preračunu na enoto suhe mase pokazala pri drugi meritvi, pri preračunu na enoto površine se je pokazala pri prvi, drugi in zadnji meritvi. Rezultati so prikazani na sliki 7.

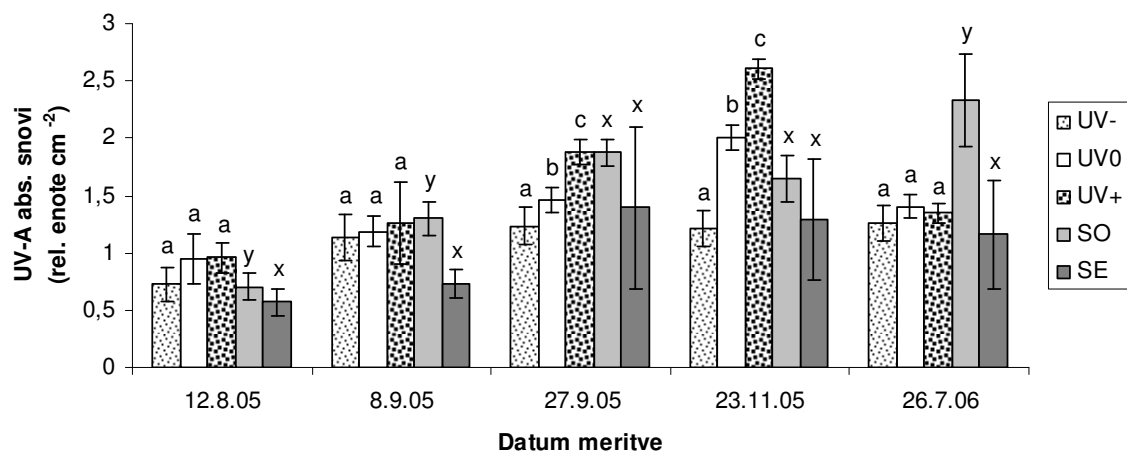
Med različno obarvanimi listi rastlin senčnega rastišča (slika 8) pri prvih dveh meritvah ni bilo statistično značilnih razlik. Statistično značilno večjo vsebnost UV-B abs. snovi smo pri zadnjih treh meritvah opazili pri skupini SESV.

Sezonska primerjava (priloga D) je pokazala podoben trend rezultatov kot pri vsebnosti UV-A abs. snovi.

a)

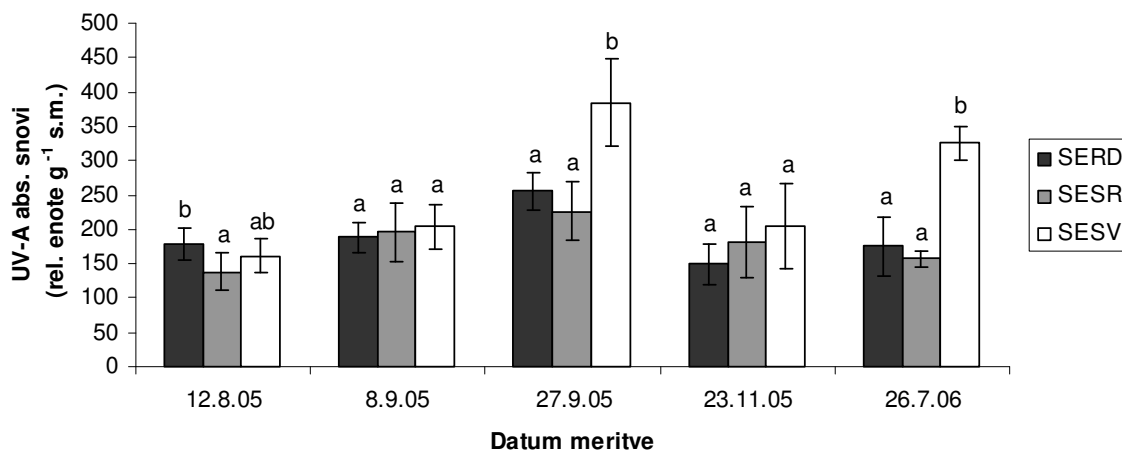


b)

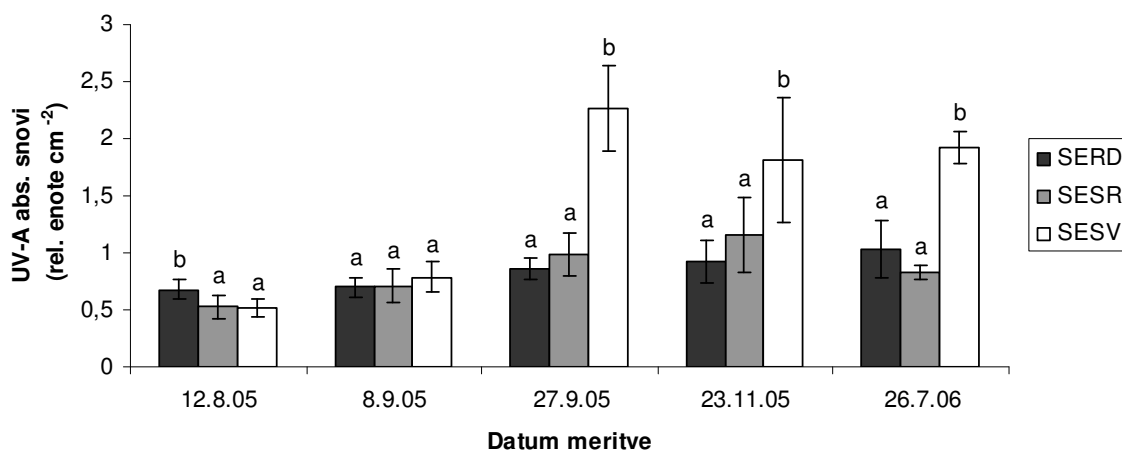


Slika 5. Vsebnost UV-A abs. snovi na enoto suhe mase (a) oz. na površino (b) lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, $\text{avg} \pm \text{SD}$). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).

a)

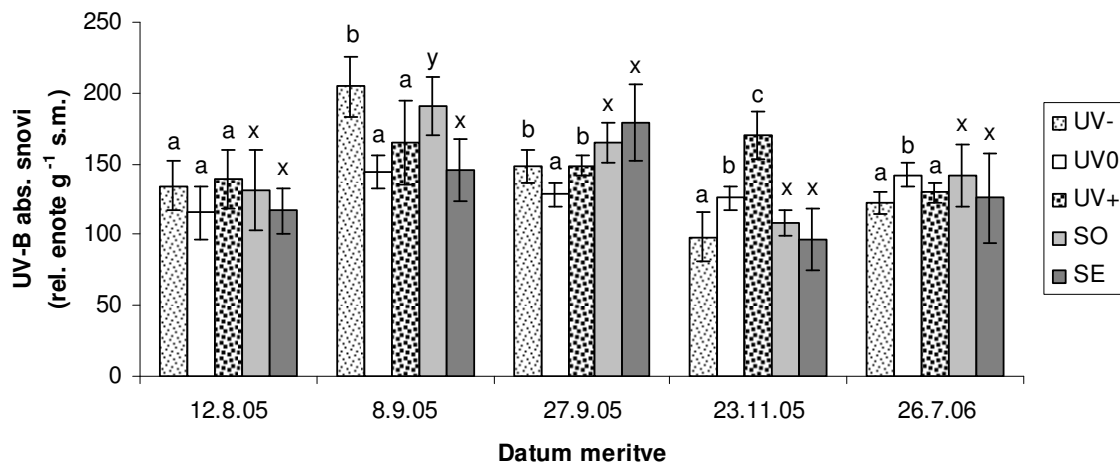


b)

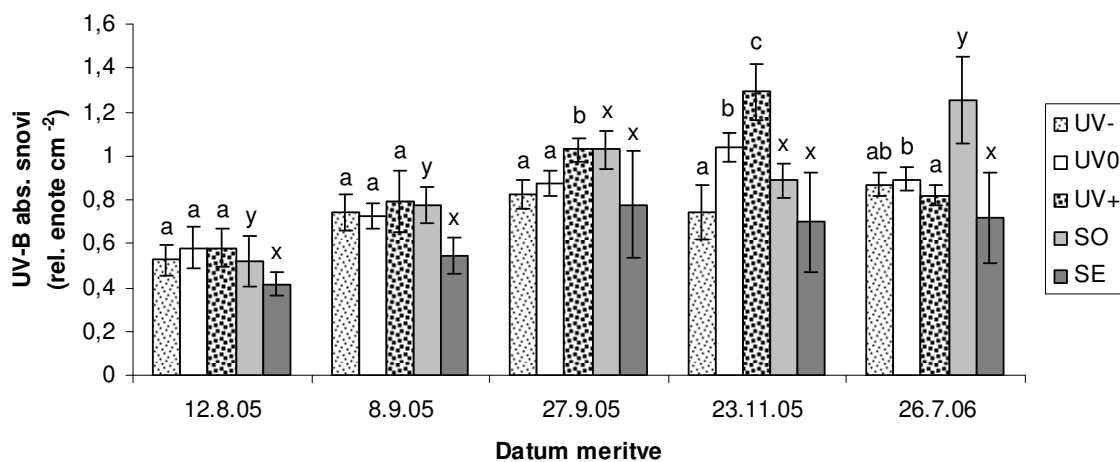


Slika 6. Vsebnost UV-A abs. snovi na enoto suhe mase (a) oz. na površino (b) lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame, pri rastlinah zraslih v senčnih razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, $\text{avg} \pm \text{SD}$). Stolpci označeni z različnimi črkami so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).

a)

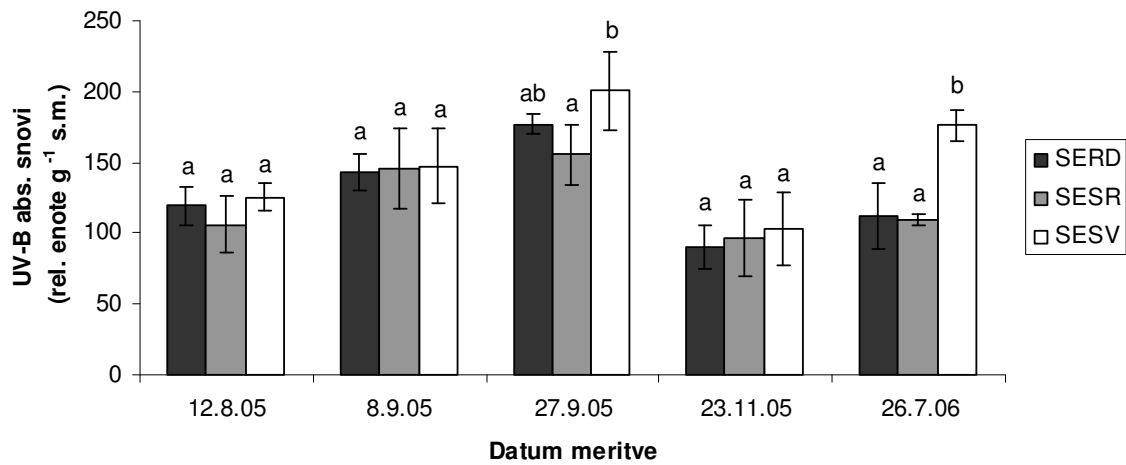


b)

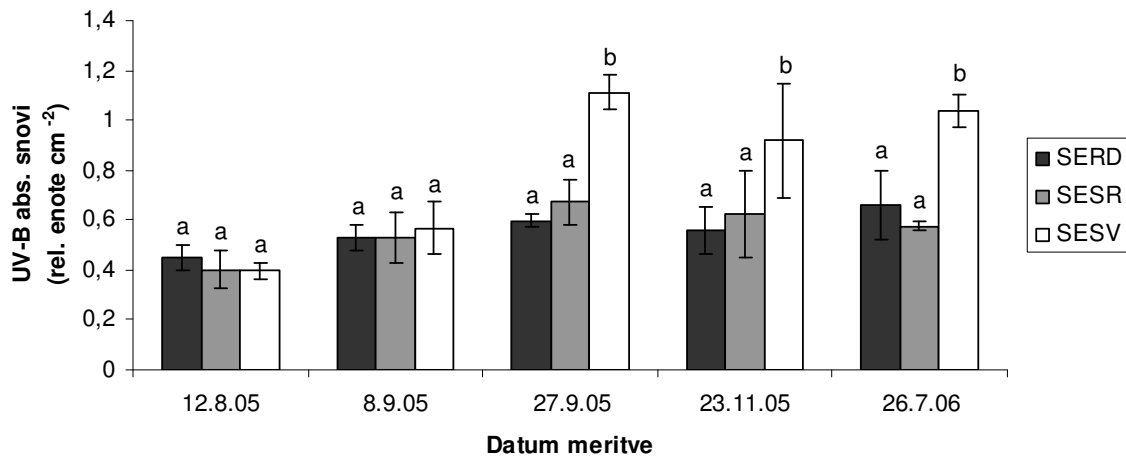


Slika 7. Vsebnost UV-B abs. snovi na enoto suhe mase (a) oz. na površino (b) lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, $\text{avg} \pm \text{SD}$). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).

a)



b)



Slika 8. Vsebnost UV-B abs. snovi na enoto suhe mase (a) oz. na površino (b) lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame, pri rastlinah zraslih v senčnih razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, $\text{avg} \pm \text{SD}$). Stolpci označeni z različnimi črkami so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).

4.1.2 Vsebnost klorofila a in b in razmerje klorofilov a/b na enoto suhe mase

4.1.2.1 Vsebnost klorofila a na enoto suhe mase

UV-B sevanje je pozitivno vplivalo na vsebnost klorofila a (slika 9) pri prvi in tretji meritvi, se pravi v jesenskem času. Na drugo in peto meritev UV-B sevanje ni vplivalo, pri četrti in zadnji meritvi pa se je pokazal negativni vpliv povečanega sevanja. SE rastline so imele pri vseh meritvah večjo vsebnost klorofila a, statistično značilne razlike so se pokazale pri prvi, tretji in zadnji meritvi.

Vsebnost klorofila a pri rastlinah senčnega rastišča z različno obarvanostjo spodnje površine listov (slika 10) se je statistično značilno razlikovala samo pri tretji meritvi, ko je bila najvišja pri rdečih listih (SERD).

Vsebnost klorofila a se je med sezono (priloga D) spreminjala. Najmanjša je bila v avgustovski meritvi, največja vsebnost klorofila a pa je bila v jesenskih mesecih.

4.1.2.2 Vsebnost klorofila b na enoto suhe mase

Vsebnost klorofila b je pri drugi in tretji meritvi naraščala s količino prejetega UV-B sevanja. Pri zadnji meritvi je bila vsebnost klorofila b najvišja pri kontrolni skupini, na druge meritve pa UV-B sevanje ni imelo vpliva. Vsebnost klorofila b je bila prav tako kot vsebnost klorofila a višja pri SE rastlinah. Rezultati so prikazani na sliki 9.

Pri rastlinah senčnega rastišča z različno obarvanostjo spodnje površine listov se je pokazal isti vzorec rezultatov kot pri vsebnosti klorofila a (slika 10).

Rezultati pri sezonski primerjavi vsebnosti klorofila b so bili podobni kot rezultati vsebnosti klorofila a (priloga D).

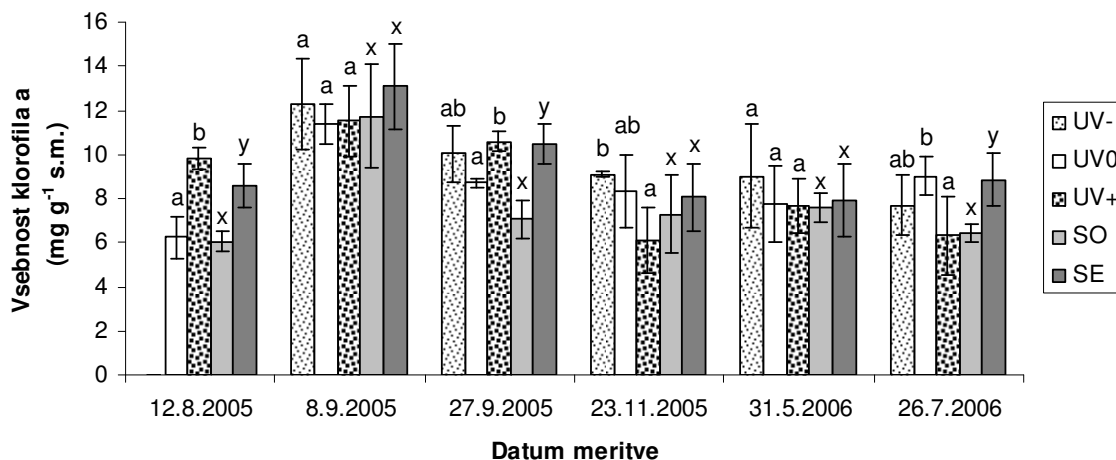
4.1.2.3 Razmerje klorofilov a/b

Razmerje klorofilov a/b (slika 11) je s količino prejetega UV-B sevanja upadalo. Izjema je bila prva meritev, kjer je bilo razmerje statistično značilno največje pri skupini s povečanim UV-B sevanjem.

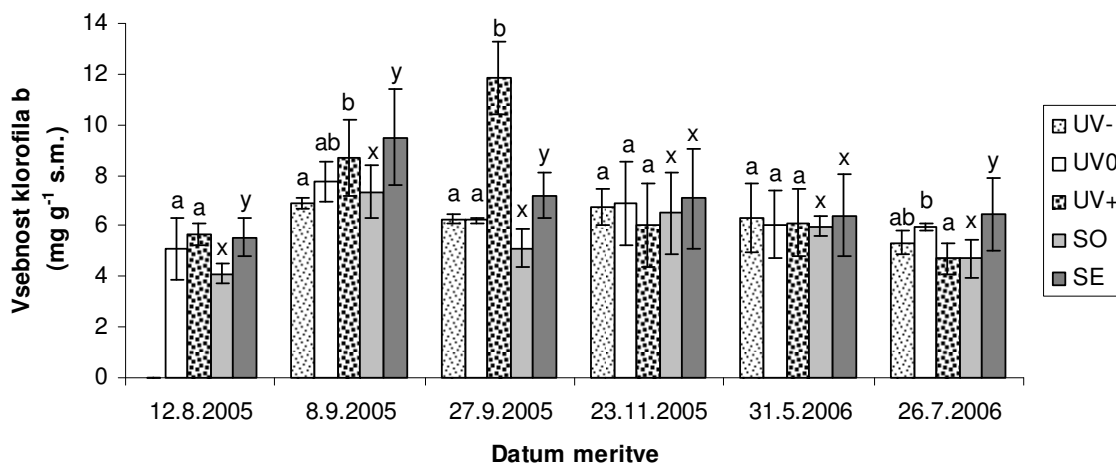
Do statistično značilnih razlik pri razmerju klorofilov a/b pri različno obarvanih listih rastlin senčnega rastišča (slika 12) je prišlo pri tretji in peti meritvi, ko je bilo najmanjše razmerje pri svetlo zeleni (SESV) obarvanosti spodnje površine listov. Pri drugih meritvah statistično značilnih razlik ni bilo.

Razmerje klorofilov a/b je bilo med sezono najvišje v jesenskih mesecih (druga in tretja meritev). Statistično značilne razlike so prikazane v prilogi D.

a)

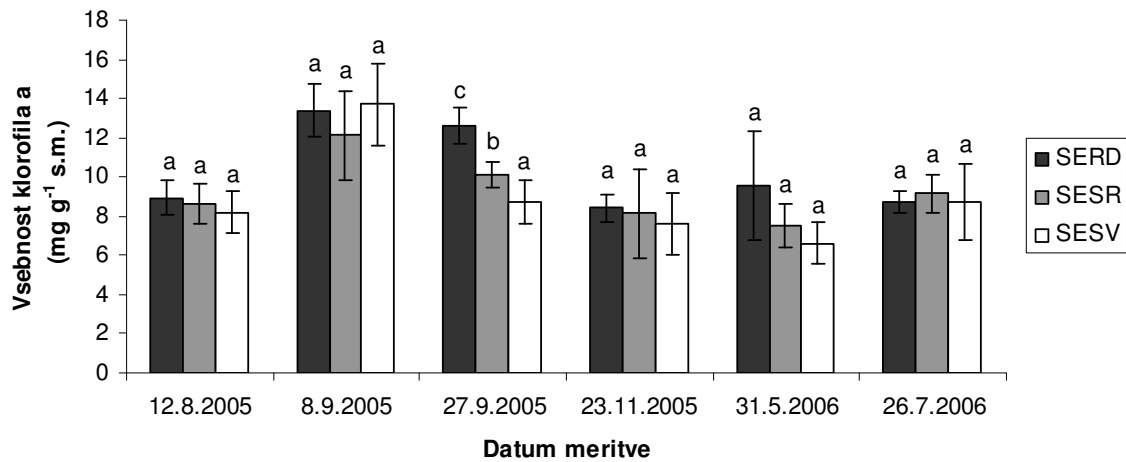


b)

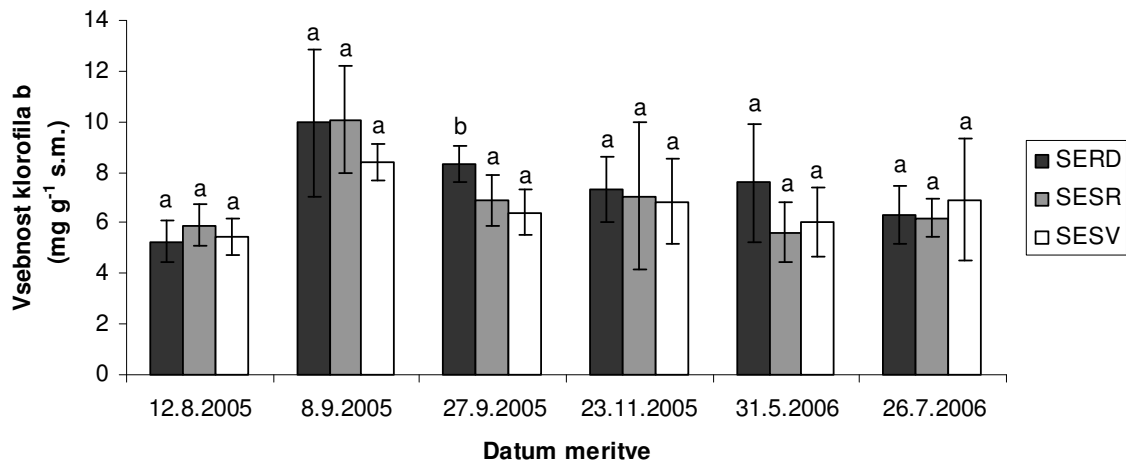


Slika 9. Vsebnost klorofila a (a) in klorofila b (b) na enoto suhe mase lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, $\text{avg} \pm \text{SD}$). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).

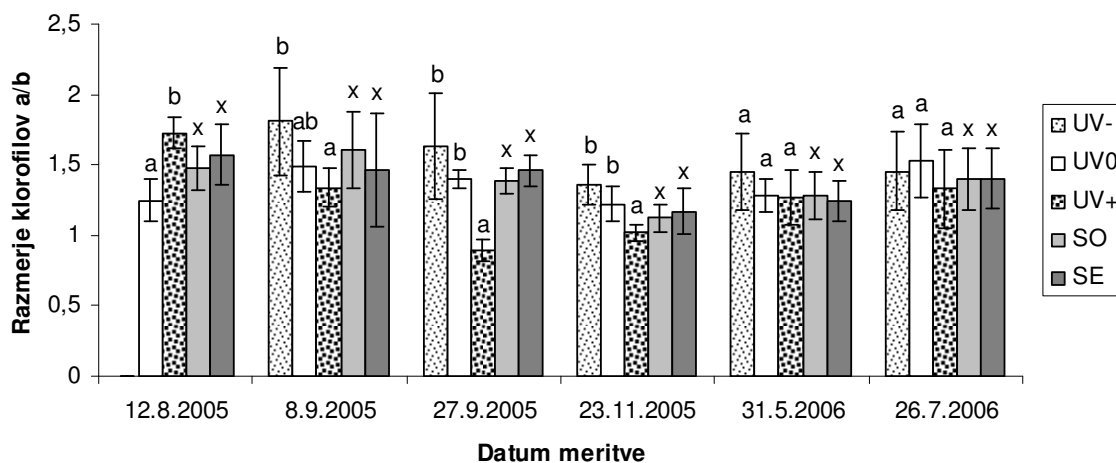
a)



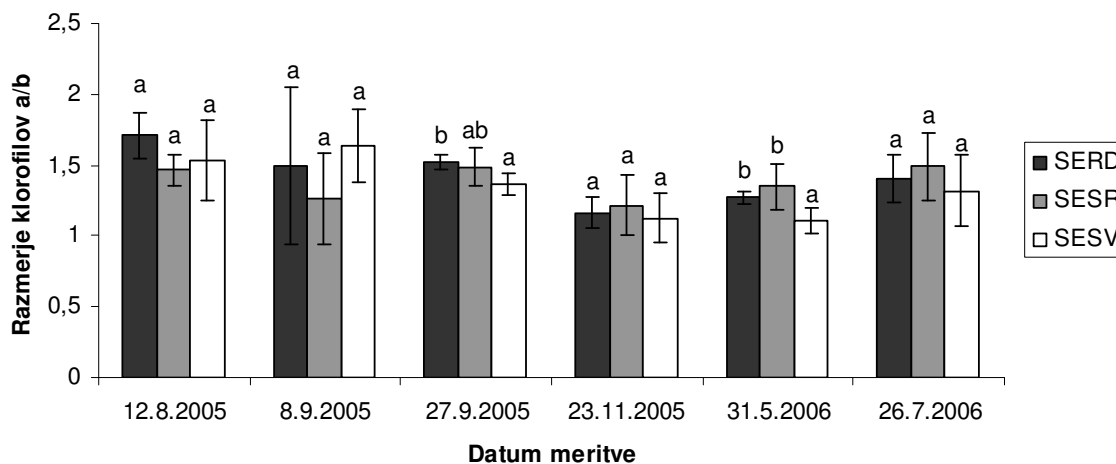
b)



Slika 10. Vsebnost klorofila a (a) in klorofila b (b) na enoto suhe mase lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame, pri rastlinah zraslih v senčnih razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, $\text{avg} \pm \text{SD}$). Stolpci označeni z različnimi črkami so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).



Slika 11. Razmerje med klorofilom a in b v listih ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, $\text{avg} \pm \text{SD}$). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).



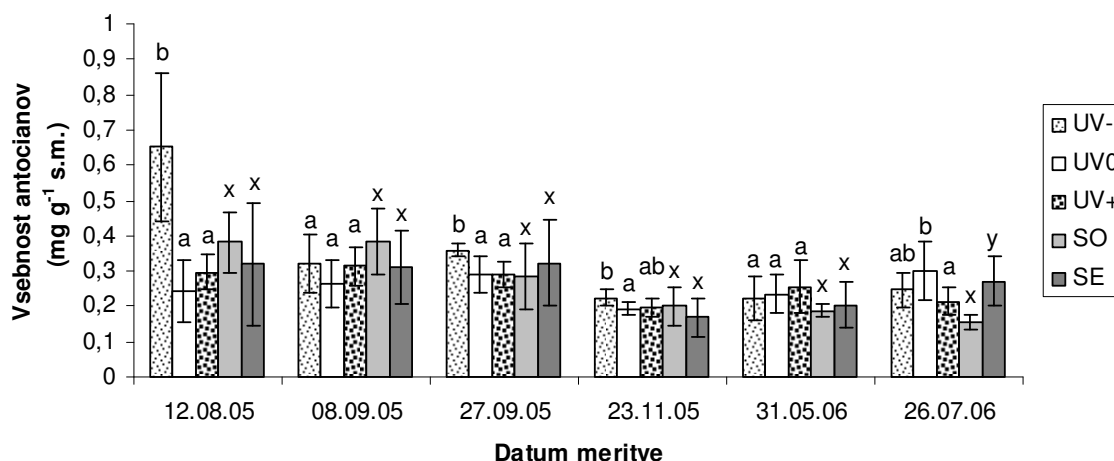
Slika 12. Razmerje med klorofilom a in b v listih ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame, pri rastlinah zraslih v senčnih razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, $\text{avg} \pm \text{SD}$). Stolpci označeni z različnimi črkami so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).

4.1.3 Vsebnost antocianov na enoto suhe mase

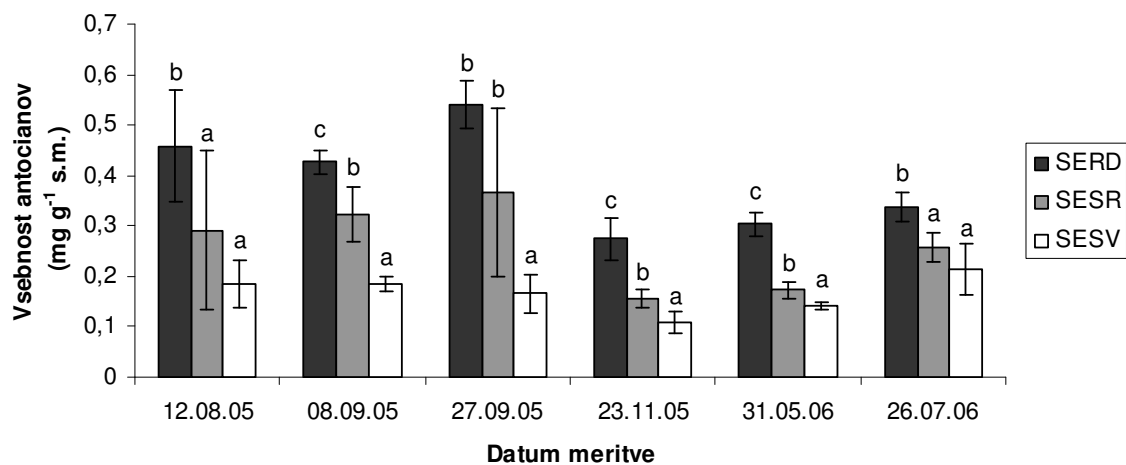
Rastline izpostavljene manjši intenziteti UV-B sevanja so imele statistično značilno večjo vsebnost antocianov pri prvi, tretji in četrti meritvi. Povečano UV-B sevanje na drugo meritev in peto meritev ni imelo vpliva. Julijska meritev je pokazala statistično značilno povečanje vsebnosti antocianov pri kontrolni skupini. Statistično značilno razliko med SO in SE rastlinami smo izmerili samo pri zadnji, julijski meritvi, kjer je bila statistično značilna večja vsebnost antocianov pri SE rastlinah. Rezultati so prikazani na sliki 13.

Značilen vzorec pri rezultatih smo opazili pri skupinah z različno obarvanostjo spodnje površine lista rastlin, zraslih v senčnih razmerah (slika 14). Statistično značilno največjo vsebnost antocianov so imele rastline z rdečo obarvanostjo (SERD), najmanjšo vsebnost pa rastline s svetlo zeleno (SESV) obarvanostjo spodnje površine lista lista.

Sezonska primerjava je pokazala statistično značilno najmanjšo vsebnost antocianov v novemberski meritvi, največjo pa v avgustovski meritvi (priloga D).



Slika 13. Vsebnost antocianov na enoto suhe mase lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, $\text{avg} \pm \text{SD}$). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).



Slika 14. Vsebnost antocianov na enoto suhe mase lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame, pri rastlinah zraslih v senčnih razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, $\text{avg} \pm \text{SD}$). Stolpci označeni z različnimi črkami so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).

4.2 EKOFIZIOLOŠKE MERITVE

4.2.1 Fotosinteza

Statistično značilnih razlik zaradi različnih obravnavanj pri neto fotosintezi nismo opazili. UV-B sevanje na neto fotosintezo pri tretji in peti meritvi ni imelo vpliva. Pri prvi in zadnji (tudi UV0) je skupina UV- imela značilno nižje vrednosti neto fotosinteze. Novemberska meritev je imela najnižjo vrednost neto fotosinteze pri UV0 skupini. Med SO in SE rastlinami ni bilo značilnih razlik. Rezultati so prikazani na sliki 15 a.

Neto fotosinteza se je med sezono značilno razlikovala (priloga D). Značilno najvišje vrednosti neto fotosinteze smo pri vseh skupinah izmerili konec poletja (meritev 27.9.2005).

4.2.2 Transpiracija

Podobno kot pri neto fotosintezi UV-B sevanje na transpiracijo ni imelo vpliva pri tretji meritvi (27.9.05). Pri ostalih meritvah je UV-B sevanje pozitivno vplivalo na transpiracijo. Med SE in SO rastlinami prav tako kot pri neto fotosintezi ni bilo statistično značilnih razlik. Rezultati so prikazani na sliki 15 b.

Transpiracija je bila tekom sezone (priloga D) najnižja pri novemberski meritvi, najvišja pa pri zadnjih dveh meritvah, spomladanski in poletni.

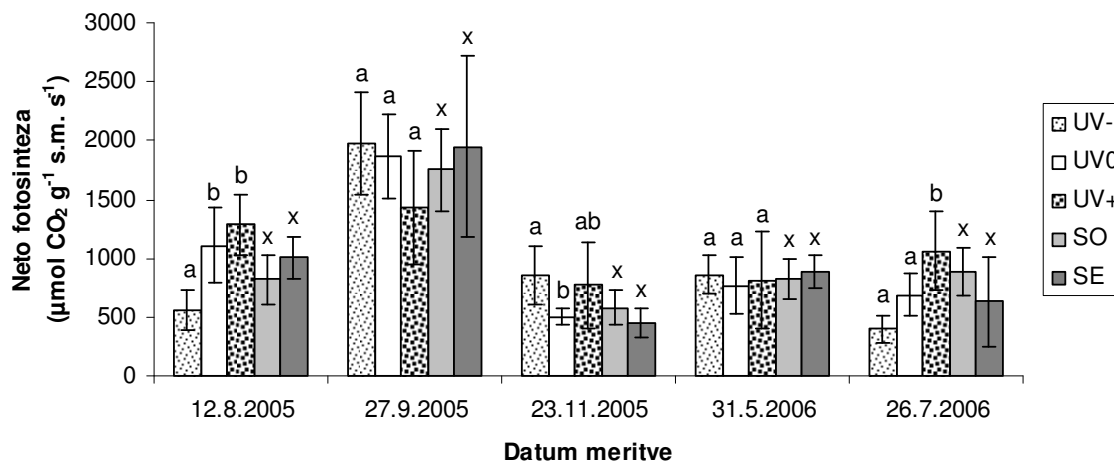
4.2.3 Fotokemična učinkovitost

Značilnih razlik pri potencialni fotokemični učinkovitosti (F_v/F_m) pri skupinah z različno intenziteto UV-B sevanja ni bilo (slika 16). Izjema je bila le meritev 31.5.06, kjer je imela skupina UV+ značilno višje vrednosti. F_v/F_m je bila pri SE rastlinah značilno večja pri meritvah 12.8.05, 27.9.05 in 23.11.05, pri drugih meritvah pa značilnih razlik med SO in SE rastlinami ni bilo.

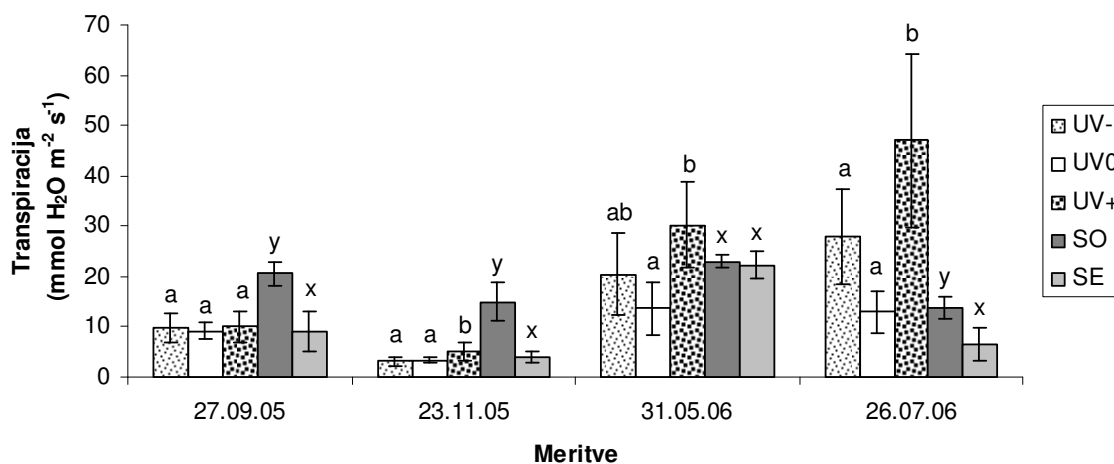
Pri dejanski fotokemični učinkovitosti (Y) nismo opazili nobenega značilnega vzorca razlik med skupinami z različno intenziteto UV-B sevanja (slika 16). Pri treh meritvah (27.9.05, 31.5.06, 26.7.06) razlik ni bilo, pri meritvah 12.8.05 in 23.11.05 je bil Y značilno višji, 8.9.05 pa je bil Y najvišji pri kontrolni skupini (UV0). Značilnih razlik med SO in SE rastlinami pri dejanski fotokemični učinkovitosti ni bilo.

Tekom sezone (priloga D) se je pokazal trend pri dejanski fotokemični učinkovitosti, in sicer so bile v jesenskih mesecih izmerjene višje vrednosti.

a)

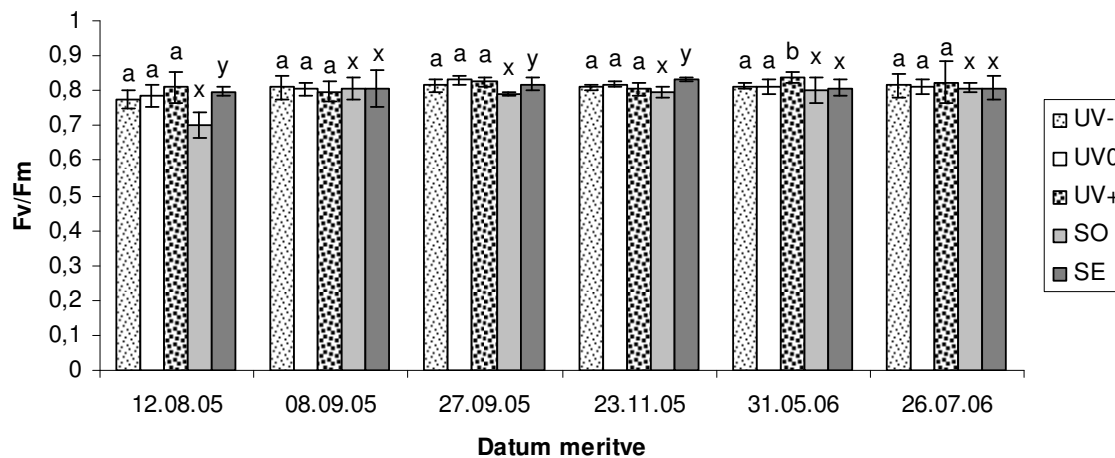


b)

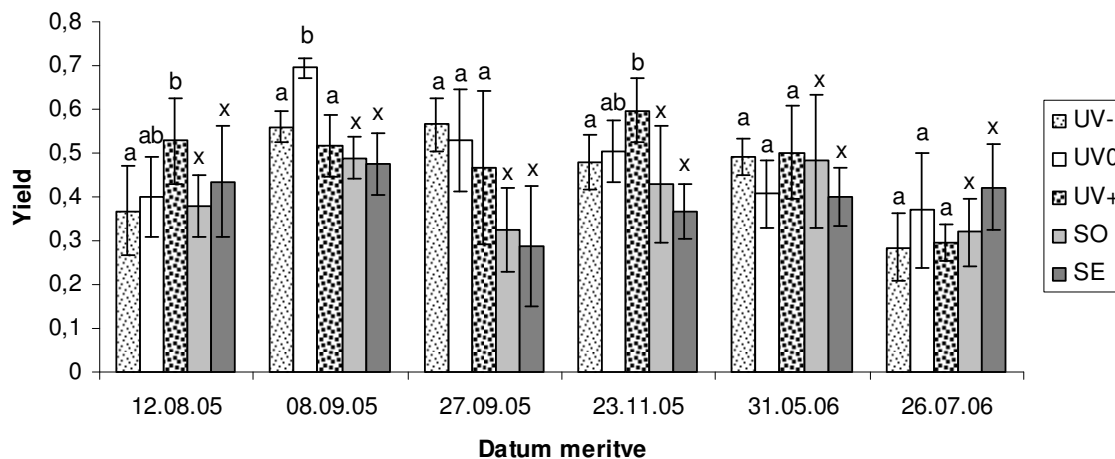


Slika 15. Neto fotosinteza (a) in transpiracija (b) pri ciklami (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, $\text{avg} \pm \text{SD}$). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).

a)



b)



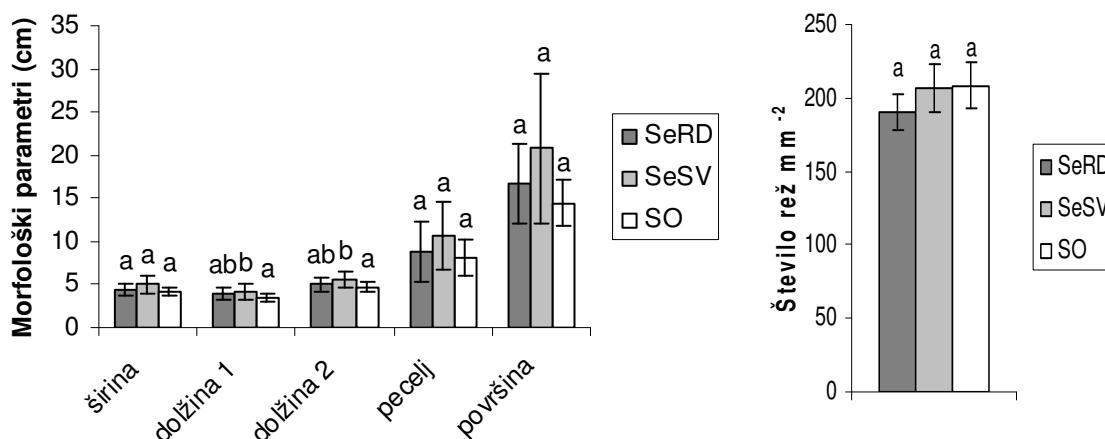
Slika 16. Potencialna (Fv/Fm) (a) in dejanska (Yield) (b) fotokemična učinkovitost navadne ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, $\text{avg} \pm \text{SD}$). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).

4.3 MORFOLOŠKE MERITVE

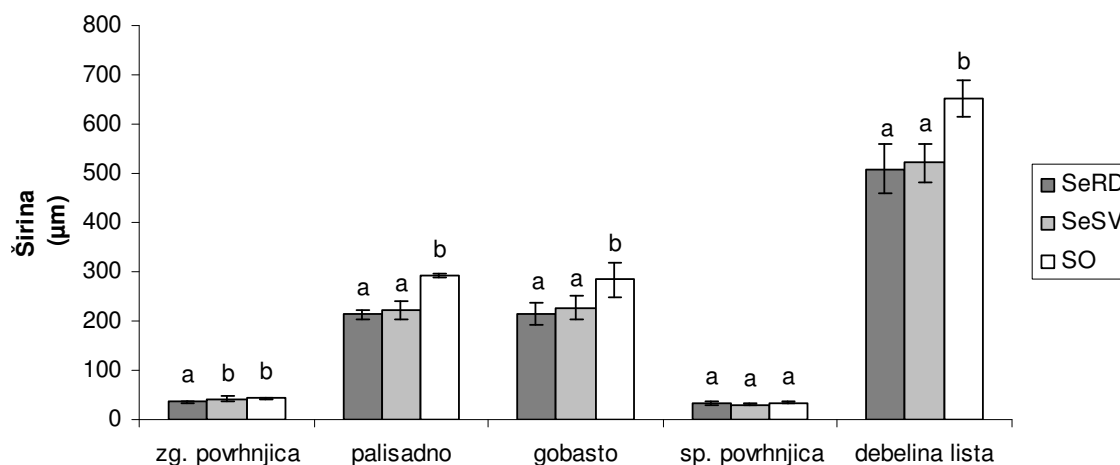
Meritve širine, dolžine peclja in površine lista ciklame se med različnimi skupinami (SERD, SESV, SO) niso statistično razlikovale. Statistično značilno večja dolžina (1 in 2) lista je bila izmerjena pri senčnih rastlinah s svetlo obarvanostjo spodnje površine lista. Pri meritvi števila rež na kvadratni milimeter nismo opazili statističnih razlik.

Sončne rastline so imele statistično značilno večjo debelino zgornje povrhnjice (tudi skupina SESV), palisadnega in gobastega tkiva. Statistično značilno večja pri sončnih rastlinah je bila tudi debelina lista. Pri meritvi debeline spodnje povrhnjice nismo opazili statistično značilnih razlik.

a)



b)



Slika 17. Morfološke meritve celega lista ter število rež (a) in meritve prečnega prereza lista (b) pri navadni ciklami (*Cyclamen purpurascens*) v senčnih razmerah pri rdeči (SERD) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame in sončnih (SO) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev (n=5, avg ± SD). Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; n=5).

5 RAZPRAVA

5.1 VPLIV SEZONE

5.1.1 Biokemijski parametri

Najmanjšo vsebnost UV absorbirajočih snovi med sezono smo izmerili pri avgustovski meritvi. Novi listi so pri naših poskusnih rastlinah začeli rasti junija. Sklepamo, da pri avgustovski meritvi rastline še niso razvile zaščite pred UV sevanjem. Pri naslednjih meritvah so imele rastline približno enako vsebnost UV-absorbirajočih snovi. Vrednosti so bile primerljive s tistimi, izmerjenimi pri navadnem pljučniku (Gaberščik in sod., 2001) in še nekaterih drugih kopenskih zelnatih rastlinah (Germ in sod., 2003).

V jesenskih mesecih smo izmerili največjo vsebnost klorofilov (a in b). Takrat smo izmerili tudi najvišjo neto fotosintezo. Zato zaključujemo, da so bile ciklame v jesenskem času najbolj fotosintezno aktivne.

Sezonska primerjava vsebnosti antocianov je pokazala manjšo vsebnost antocianov pri novemberski in poletnih meritvah, večjo pa pri jesenskih meritvah. Jesen 2005 je bila precej sončna in topla, konec novembra pa se je že pokazal vpliv zime. Opazili smo tudi, da je bilo pri jesenski meritvi večja vsebnost antocianov pri sončnih rastlinah, razlike sicer niso bile statistično značilne, pri poletnih meritvah pa smo več antocianov izmerili pri senčnih rastlinah, julija tudi statistično značilno razliko.

5.1.2 Fiziološki parametri

Najnižjo transpiracijo smo pri ciklamah v našem poskusu namerili jeseni, najvišjo pa sredi poletja.

Pri meritvi neto fotosinteze skozi sezono smo izmerili značilno najvišjo fotosintezo konec septembra, visoka je bila tudi avgusta. Novembra, maja in junija so imele rastline značilno nižje vrednosti neto fotosinteze. Novembra se je že kazal vpliv zime (nižje svetlobne intenzitete, nižje temperature,...), zato so bile verjetno rastline že manj aktivne. Meritve konec maja smo izvajali na starih listih prejšnje sezone, julija pa na mladih listih, zato predvidevamo, da je to vzrok nižjim vrednostim.

Vpliva sezone na potencialno fotokemično učinkovitost (F_v/F_m) nismo opazili. Dejanska fotokemična učinkovitost (Y) je bila v povprečju pri vseh skupinah najnižja pri avgustovski in julijski meritvi, najvišja pa pri obeh septembrskih meritvah. Prav tako kot Y , je bila tudi neto fotosinteza najvišja pri septembrski meritvi, zato zaključujemo, da so takrat fotosintezni procesi nemoteno potekali.

5.2 VPLIV UV-B SEVANJA

5.2.1 Vsebnost UV absorbirajočih snovi

Produkcija UV absorbirajočih pigmentov je eden od ključnih zaščitnih mehanizmov rastline pred povečanim UV-B sevanjem (Björn, 2007). UV-B sevanje inducira produkcijo UV absorbirajočih snovi. Flavonoidi so eni glavnih UV absorbirajočih snovi in v rastlini delujejo kot filter za škodljivo UV-B sevanje (Rozema in sod., 1997).

Povečano UV-B sevanje je v povprečju pozitivno vplivalo na vsebnost UV absorbirajočih snovi. Pri ciklami pri prvih dveh meritvah pozitivnega vpliva še nismo opazili, predvidevamo, da takrat rastlina še ni razvila zaščitnih mehanizmov. Rezultati so v skladu s predhodnjimi raziskavami pokazali povečano produkcijo UV absorbirajočih snovi z naraščajočim UV-B sevanjem (Gaberščik in sod., 2001).

5.2.2 Vsebnost fotosinteznih pigmentov

Znano je, da UV-B sevanje negativno, pozitivno ali ne vpliva na vsebnost fotosinteznih pigmentov (Bornman in Teramura, 1993). Nižjo vsebnost klorofilov pod povišanim UV-B sevanjem so izmerili Yao in sod. (2007) ter Kakani in sod. (2003). Pri ciklami UV-B sevanje večinoma ni imelo značilnega vpliva na vsebnost klorofilov.

Količina UV-B sevanja je vplivala tudi na razmerje klorofilov a/b, in sicer je bilo razmerje manjše pri povečanem UV-B sevanju. Correia in sod. (1999) razlagajo manjše razmerje klorofilov a/b pri povečanem UV-B sevanju z večjo stabilnostjo klorofila b v primerjavi s klorofilom a.

5.2.3 Vsebnost antocianov

Rastline izpostavljene večji intenziteti UV-B sevanja so imele manjšo vsebnost antocianov. Mnogi drugi avtorji npr. Close (2003), so v svojih raziskavah dokazali ravno nasprotno. Predvidevamo, da zaradi tega, ker so pri ciklami antociani prisotni v spodnji povrhnjici lista, verjetno nimajo zaščitne vloge pred povečanim UV-B sevanjem.

5.2.4 Neto fotosinteza

Predhodne raziskave so pokazale, da UV-B sevanje pri rastlinah pogosto škodljivo vpliva na fotosintezni aparat, pri čemer pride do zmanjšanja fotosinteze (Björn, 2007; Rozema in sod., 1997).

UV-B sevanje večinoma ni imelo značilnega vpliva na fotosintezo, razen pri avgustovski in julijski meritvi je imelo pozitiven vpliv. Pri avgustovski meritvi smo prav tako izmerili večjo dejansko fotokemično učinkovitost PSII pri povečanem UV-B sevanju, kar je tudi lahko vplivalo na povišano fotosintezo.

5.2.5 Transpiracija

UV-B sevanje je v našem poskusu pozitivno vplivalo na transpiracijo. Naši rezultati so v nasprotju z ugotovitvami Correia in sod. (1999) in raziskavami Negash in Björn (1986). So pa v nekaterih raziskavah ugotovili povečanje transpiracije pod povečanim UV-B sevanjem (Gaberšček in sod., 2002), kar je verjetno posledica večje togosti listnih rež.

5.2.6 Fotokemična učinkovitost

UV-B sevanje ni vplivalo na potencialno fotokemično učinkovitost PSII (Fv/Fm). Vrednosti Fv/Fm so bile pri vseh meritvah visoke in niso bistveno odstopale od teoretičnega maksimuma (0,83), zato ne moremo govoriti o poškodbah PSII, ki se pojavijo v stresnih razmerah. Pozitiven vpliv sevanja smo izmerili le pri meritvi 31.5.06.

Vpliv UV-B sevanja na dejansko fotokemično učinkovitost (Y) je bil zelo različen, kar povezujemo s prisotnostjo prehodnega stresa (Schrieber in sod., 1995). Statistično značilen pozitiven vpliv UV-B sevanja smo izmerili v avgustovski in novemberski meritvi, začetek septembra pa je bil Y najvišji pri kontrolni skupini. Pri drugih meritvah ni bilo statistično značilnih razlik. Bistvenega vpliva na neto fotosintezo tako Y ni imel, razen pri avgustovski meritvi.

5.3 VPLIV SONČNIH IN SENČNIH RAZMER

5.3.1 Vsebnost UV absorbirajočih snovi

Rastline zrasle v sončnih razmerah so imele več UV absorbirajočih snovi, kot rastline zrasle v senčnih razmerah. Tudi drugi avtorji ugotavljajo, da imajo rastline sončnih rastišč večjo produkcijo UV absorbirajočih snovi (Rozema in sod., 2002).

Pri različno obarvanih listih rastlin senčnega rastišča smo izmerili največjo vsebnost UV absorbirajočih snovi pri listih s svetlo zeleno obarvanostjo spodnje površine lista. So pa imeli ti listi manjšo vsebnost antocianov, to je posledica zaščitne strategije rastlin pred povečanim sevanjem.

5.3.2 Vsebnost fotosinteznih pigmentov

Rastline sončnih rastišč imajo večjo vsebnost klorofilov na enoto površine in višje vrednosti razmerja kl a/b (Lichtenthaler in sod., 2007; Sarijeva in sod., 2007). Prve tri meritve smo pri SO rastlinah izmerili manjšo vsebnost klorofilov na enoto površine, pri zadnjih treh pa višjo vsebnost. Razmerje klorofilov a/b ni pokazalo statistično značilnih razlik med SO in SE rastlinami, kar pomeni, da je fenotipska plastičnost ciklame razmeroma majhna. Na enoto suhe teže imajo večjo vsebnost klorofilov senčni listi v primerjavi s sončnimi listi (Gurevitch in sod., 2002). Večjo vsebnost klorofilov na enoto suhe teže pri SE rastlinah smo izmerili tudi v naši raziskavi.

Pri rastlinah iz senčnih razmer z različno obarvanostjo spodnje površine lista nismo opazili povezave med različno obarvanostjo in vsebnostjo klorofilov.

5.3.3 Vsebnost antocianov

Sončne in senčne razmere so v naši raziskavi vplivale na vsebnost antocianov v odvisnosti od letnega časa sezone. V jesenskih mesecih smo večjo vsebnost antocianov zabeležili pri sončnih rastlinah, v poletnih mesecih pa pri senčnih rastlinah. Akumulacija antocianov v senčnih listih štiti pred premočnim sevanjem, na primer sončnimi lisami (Schulze in sod., 2005; Close in sod., 2003). To bi lahko razložilo naše rezultate, vendar pa ne smemo pozabiti, da so antociani pri ciklamah akumulirani v spodnji povrhnjici lista in zato verjetno ne igrajo posebne vloge pri zaščiti rastlin pred premočnim sevanjem (sončnimi lisami). Možno je, da antociani pri ciklamah predstavljajo zaščito pred herbivori in glivami (Close in sod., 2003).

SE rastline z rdečo obarvanostjo spodnje povrhnjice lista so vsebovale značilno več antocianov, kot rastline s srednjo in svetlo zeleno obarvanostjo. Rezultati so potrdili naša pričakovanja. Ker pa funkcija rdeče obarvanosti spodnje površine listov še ni dovolj raziskana, to vprašanje puščamo odprto.

5.3.4 Neto fotosinteza

Rastline sončnih habitatov več energije vlagajo v fotosintezni aparat, zato imajo tudi višjo neto fotosintezo (Gurevitch in sod., 2002; Schulze in sod., 2005). Imajo tudi boljše razvit fotosintezni parenhim (Schulze in sod., 2005). Statistično značilnih razlik pri neto fotosintezi med SO in SE rastlinami v naši raziskavi ni bilo.

5.3.5 Transpiracija

Gostota rež je pri sončnih rastlinah navadno večja kot pri senčnih rastlinah (Gurevitch in sod., 2002). Razlik v gostoti rež med našimi poskusnimi rastlinami nismo ugotovili, vendar so imele SO rastline statistično značilno višjo transpiracijo kot pa SE rastline, kar je lahko posledica togosti listnih rež.

5.3.6 Fotokemična učinkovitost

Potencialna fotokemična učinkovitost PSII (Fv/Fm) SE rastlin je bila večinoma višja, kot pa Fv/Fm SO rastlin. Pri avgustovski meritvi smo pri SO rastlinah opazili prisotnost stresa. Vrednosti Fv/Fm, manjše od 0,72, odražajo namreč fotooksidativne poškodbe PSII (Critchley, 1998).

Pri dejanski fotokemični učinkovitosti PSII nismo izmerili značilnih razlik, vendar je bila razmeroma nizka, kar je odražalo prehodni stres.

5.3.7 Morfološke meritve

Svetlobne razmere vplivajo na razvoj morfoloških značilnosti. Sončni in senčni listi se med seboj razlikujejo. To je bilo dokazano v različnih predhodnih raziskavah (Larcher, 2003).

Naši rezultati morfoloških meritev celega lista (širina lista, dolžina peclja in površina lista, gostota rež) niso pokazali statistično značilnih razlik med sončnimi in senčnimi rastlinami.

Statistično značilno večja dolžina lista je bila izmerjena le pri senčnih rastlinah s svetlo zeleno obarvanostjo spodnje površine lista. Glede na predhodne objave bi pričakovali večjo površino lista pri senčnih rastlinah (Gurevitch in sod., 2002; Schulze in sod. 2005; Lichtenthaler, 2007).

Sončne in senčne rastline se razlikujejo med seboj tudi v sami zgradbi prečnega prereza lista. Šibkejša kot je svetlobna intenziteta, slabše je razvit fotosintezni parenhim (Schulze in sod., 2005). Senčni listi so navadno tanjši (Gurevitch in sod., 2002; Schulze in sod., 2005; Lichtenthaler, 2007). V naši raziskavi smo dobili podobne rezultate. Pri prečnem prerezu lista ciklame so imele senčne rastline manjšo debelino zgornje povrhnjice, palisadnega in gobastega tkiva, tudi sama debelina lista je bila manjša.

6 SKLEPI

Sezonska dinamika nekaterih aktivnosti in biokemijskih lastnosti je dokazala najvišjo aktivnost ciklame v poznem poletju oz. jesenskem času. Najvišjo neto fotosintezo smo izmerili konec poletja, začetek jeseni, kar dokazuje višek aktivnosti ciklame v tem letnem času. Sezona je vplivala tudi na fotokemično učinkovitost in transpiracijo. Slednja je bila najvišja poleti, najnižja pa jeseni. Najvišjo dejansko fotokemično učinkovitost so imele ciklame v zgodnjem jesenskem času, kar se sklada z meritvami neto fotosinteze.

Največja fotosintezna aktivnost v jeseni sovпада tudi z večjo vsebnostjo klorofilov. Najmanjšo vsebnost UV absorbirajočih snovi smo izmerili v avgustovski meritvi, nato pa približno enako vsebnost čez celo sezono. Antocianov so imele rastline več v jesenskih mesecih, manj pa v novembrski meritvi in poletnih mesecih.

Povečano UV-B sevanje je pozitivno vplivalo na produkcijo UV absorbirajočih snovi, negativno na produkcijo klorofilov in razmerje klorofilov a/b. Opazili smo negativen vpliv UV-B sevanja na produkcijo antocianov, ki pri ciklami niso zaščita pred sevanjem.

Neto fotosinteza se je večinoma pod vplivom povečanega UV-B sevanja zmanjševala. Bistvenega vpliva UV-B sevanje na potencialno in dejansko fotokemično učinkovitost PSII ni imelo. Pozitivno pa je UV-B sevanje vplivalo na transpiracijo, kar je verjetno posledica večje togosti listnih rež.

Primerjava med rastlinami sončnega in senčnega rastišča ni pokazala velikih morfoloških razlik med temi rastlinami. Izmerili smo le manjšo debelino listov pri SE rastlinah.

Sončne razmere so vplivale na povečano produkcijo UV absorbirajočih snovi, to smo opazili tudi pri rastlinah zraslih v senčnih razmerah s svetlo zeleno obarvanostjo spodnje površine lista. SE rastline z rdečo obarvanostjo spodnje površine lista so imele značilno več antocianov.

Večjo vsebnost klorofilov na enoto suhe teže smo izmerili pri SE rastlinah. Razmerje klorofilov a/b ni pokazalo statistično značilnih razlik med SO in SE rastlinami. Prav tako nismo opazili vpliva sončnih in senčnih razmer na neto fotosintezo, so pa sončne razmere pozitivno vplivale na transpiracijo.

7 POVZETEK

Za poskusno rastlino smo si izbrali navadno ciklamo (*Cyclamen purpurascens* Mill.). Navadna ciklama je dolgoživeča gomoljasta trajnica z letnim ciklom rasti in počitka. Hladnejša obdobja leta preživi pod zemljo v fazi počitka, toploto pomladi in poletja pa izkoristi za rast in razmnoževanje (Grey-Wilson, 2002). Ciklama je rastlina podrasti, se pravi senčnih okolij, najdemo pa jo tudi na bolj sončnih legah.

Ozonska plast, ki ščiti pred biološko aktivnim UV-B sevanjem, se je v drugi polovici dvajsetega stoletja občutno zmanjšala. UV-B sevanje škodljivo vpliva na vse organizme. Rastline so razvile že vrsto prilagoditev in zaščitnih mehanizmov za obrambo pred premočnim sevanjem.

Namen diplomske naloge je bilo proučiti vpliv dveh različnih rastišč, sončnega in senčnega, ter UV-B sevanja na sezonsko dinamiko aktivnosti navadne ciklame, (*Cyclamen purpurascens* Mill.). Zanimala nas je tudi obarvanost spodnje površine lista in vsebnost različnih pigmentov.

Rastline, ki smo jih uporabili v našem poskusu, smo nabirali na dveh rastiščih, na osojnem pobočju pod Mengeško kočo in prisojnem pobočju Rašice. V Botaničnem vrtu v Ljubljani smo jih postavili na poskusne gredice. Rastline nabrane na prisojnem rastišču smo razporedili na sončno gredico, rastline nabrane na osojnem rastišču pa smo posadili na senčno gredico in v 3 skupine na gredice, ki so bile izpostavljene različnim intenzitetam UV-B sevanja.

Med rastno sezono smo opravili šest meritev. Merili smo biokemijske lastnosti (vsebnost UV absorbirajočih snovi, klorofilov in antocianov) in aktivnost rastlin (fotokemično učinkovitost, neto fotosintezo in transpiracijo).

Ob koncu naše raziskave smo izmerili še morfološke značilnosti pri treh skupinah (SO, SERD, SESV). Izmerili smo dolžino peclja, površino, širino in dolžino (1 in 2) lista ter število rež. Naredili smo prečne prereze listov in izmerili še debelino zg. povrhnjice, palisadnega in gobastega tkiva, sp. povrhnjice in debelino celotnega lista ciklame.

Vpliv sezone se je v naši raziskavi pokazal pri nekaterih biokemijskih in ekofizioloških parametrih. Ciklame so bile najbolj fotosintezno aktivne v pozno poletnem oz. jesenskem času. Najvišjo neto fotosintezo smo namreč izmerili konec poletja, začetek jeseni, kar dokazuje višek aktivnosti ciklame v tem letnem času. Zaznali smo tudi razlike v fotokemični učinkovitosti in transpiraciji. Slednja je bila najvišja poleti, najnižja pa jeseni. Najvišjo dejansko fotokemično učinkovitost so imele ciklame v zgodnjem jesenskem času, kar se sklada z meritvami neto fotosinteze. Največja fotosintezna aktivnost v jeseni sovпада tudi z večjo vsebnostjo klorofilov.

Najmanjšo vsebnost UV absorbirajočih snovi smo izmerili v avgustovski meritvi, sicer pa so bile vrednosti podobne skozi celo sezono. Antocianov so imele rastline več v jesenskih mesecih, manj pa v novembrski meritvi in poletnih mesecih.

Povečano UV-B sevanje je pozitivno vplivalo na produkcijo UV absorbirajočih snovi, negativno na produkcijo klorofilov in razmerje klorofilov a/b. Opazili smo negativen vpliv UV-B sevanja na produkcijo antocianov, ker verjetno pri ciklami ne igrajo posebne vloge pri zaščiti rastlin pred premočnim sevanjem

Neto fotosinteza se je večinoma pod vplivom povečanega UV-B sevanja zmanjševala. Bistvenega vpliva UV-B sevanje na fotokemično učinkovitost ni imelo. Pozitivno pa je UV-B sevanje vplivalo na transpiracijo. Zaključimo lahko, da povečano UV-B sevanje ni imelo bistvenega vpliva na fiziološko stanje rastlin in da so bile rastline dovolj zaščitene pred premočnim sevanjem s povečano produkcijo UV absorbirajočih snovi.

Pričakovali smo tudi biokemijske in ekofiziološke razlike med rastlinami sončnega in senčnega rastišča. Primerjava med SO in SE rastlinami ni pokazala velikih morfoloških razlik. Izmerili smo le manjšo debelino listov pri SE rastlinah. Pričakovali smo večje razlike.

Sončne razmere so vplivale na povečano produkcijo UV absorbirajočih snovi. Pozitiven vpliv sončnih razmer se je pokazal tudi pri vsebnosti antocianov v jesenskih mesecih, v poletnih pa negativen vpliv. SE rastline z rdečo obarvanostjo spodnje površine lista so imele značilno več antocianov. Vprašanje, kakšno funkcijo imajo antociani pri ciklamah, ostaja odprto.

Večjo vsebnost klorofilov na enoto suhe teže smo izmerili pri SE rastlinah. Razmerje klorofilov a/b ni pokazalo statistično značilnih razlik med SO in SE rastlinami. Prav tako nismo opazili vpliva sončnih in senčnih razmer na neto fotosintezo, so pa sončne razmere pozitivno vplivale na transpiracijo. Zaključujemo, da ciklami njen potencial omogoča uspešno rast tako na senčnih, kot tudi na sončnih rastiščih.

8 VIRI

- BAILEY L.H., 1900, 1914, rewritten, enlarged and reset 1928, 1942: The standard cyclopedia of horticulture. The Macmillan company, New York, 1: 933-934.
- BATSCHAUER A., 1999: Light perception in higher plants. CMLS Cellular and Molecular Life Sciences, 55: 153-165
- BAVCON J., 2006: Leaf patterning in *Cyclamen purpurascens* in Slovenia. V: HANZELKA, Petr (ur.). EuroGard IV: botanic gardens and the 2010 challenge. Prague: Czech botanic gardens union, 2006, str. 38.
- BJÖRN L.O., 2007: Stratospheric ozone, ultraviolet radiation, and cryptogams. Biological conservation 135: 326-333.
- BJÖRN L.O., CALLAGHAN T.V., GEHRKE C., JOHANSON U., SONESSON M., 1999: Ozone depletion, ultraviolet radiation, and plant life. Chemosphere: Global Change Science 1: 449-454.
- BJÖRN L.O., MURPHY T.M., 1985: Computer calculation of solar ultraviolet-B radiation at ground level. Physiologie végétale, 23:555-561
- BJÖRN L.O., WIDELL S., WANG T., 2002: Evolution of UV-B regulation and protection in plants. Advances in Space Research, 30, 6: 1557-1562.
- BLUMTHALER M., AMBACH W., 1990: Indication of Increasing Solar Ultraviolet-B Radiation Flux in Alpine Regions. Science 248: 206-208.
- BORNMAN J.F., TERAMURA A.H., 1993: Effects of Ultraviolet-B Radiation on Terrestrial Plants. In: Environmental UV Photobiology. Young A. R., Björn L. O., Moan J., Nultsch W. (eds.), Plenum Press, New York: 427-471.
- BRICKELL C., 1996 revised 2003: A-Z Encyclopedia of garden plants. The Royal Horticultural Society, Velika Britanija, 1: 334-336.
- CALDWELL M.M., 1968: Solar UV radiation as an ecological faktor for alpine plants. Ecological Monographs, 38: 243-268
- CALDWELL M.M., BJÖRN L.O., BORNMAN J.F., FLINT S.D., KULANDAIVELU G., TERAMURA A.H., TEVINI M., 1998: Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 46: 40-52.
- CLOSE D.C., BEADLE C.L., 2003: The Ecophysiology of Foliar Anthocyanin. The Botanical Review 69(2): 149-161.

- CORREIA C.M., TORRES-PEREIRA M.S., TORRES-PEREIRA J.M.G., 1999: Growth, photosynthesis and UV-B absorbing compounds of Portuguese barbela wheat exposed to ultraviolet-B radiation. *Environmental Pollution*, 104:383-388.
- CRITCHLEY C., 1998: Photoinhibition. In: *Photosynthesis: a comprehensive treatise*. Ragheendra A.S. (ed.). University Press, Cambridge: 264-272.
- GABERŠČIK, A., NOVAK M., TROŠT T., MAZEJ Z., GERM M., BJÖRN L.O., 2001: The influence of enhanced UV-B radiation on the spring geophyte *Pulmonaria officinalis*. *Plant Ecology* 154: 51-56.
- 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: 30-36.
- GERM M., GABERŠČIK A., TROŠT SEDEJ T., MAZEJ Z., BAVCON J., 2003: The effects of UV-B radiation on aquatic and terrestrial primary producers. *Ann. Ser. hist. nat.*, 2003, 13, 2: 281-288.
- GREY-WILSON C., 2002: *Cyclamen: A Guide for Gardeners, Horticulturists and Botanists*. 2. izdaja. B T Batsford: 125-129 str.
- GRIMSHAW J.M., 1992: Red pigmentation in *Cyclamen* leaves. *Cyclamen* 16, 1:23-26.
- GUREVITCH J., SCHEINER S.M., FOX G.A., 2002: *The Ecology of Plants*, Sinauer Associates, Inc., USA.
- JOSEFSSON W., 1996: Measurements of total ozone, National Environmental Monitoring 1993/1994. Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm ISBN 91-620-4405-2.
- KAKANI V.G., REDDY K.R., ZHAO D., SAILAJA K., 2003B: Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review. *Agricultural and Forest Meteorology*, 120: 191-218.
- KHARE M., GURUPRASAD K.N., 1993: UV-B induced anthocyanin synthesis in maize regulated by FMN and inhibitors of FMN photoreactions. *Plant Science*, 91: 1-5.
- KLICH M. G., 2002: Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. *Environmental and Experimental Botany*, 44, 3: 171-183.
- KOTI S., REDDY K.R., KAKANI V.G., ZHAO D., GAO W., 2007: Effects of carbon dioxide, temperature and ultraviolet-B radiation and their interactions on soybean (*Glycine max* L.) growth and development. *Environmental and Experimental Botany*, 60,1: 1-10.
- KROMAR JANEZ, 1979: *Strupene rastline*. Založba borec, Ljubljana.

- LARCHER W., 2003: Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups, 4th ed. Springer, Berlin.
- LICHTENTHALER H.K., 1987: Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 44: 331-382.
- LICHTENTHALER H.K., AČ A., MAREK M.V., KALINA J., URBAN O., 2007: Differences in pigment composition, photosynthetic rates and chlorophyll fluorescence images of sun and shade leaves of four tree species. *Plant Physiology and Biochemistry*, Volume 45: 8, 577-588.
- MADRONICH S., 1993: The Atmosphere and UV-B Radiation at Ground Level. In: *Environmental UV Photobiology*. Antony R. Y., Björn L. O., Moan J., Nultsch W. (eds.). New York, Plenum Press: 1-39.
- MADRONICH S., MCKENZIE R.L., BJÖRN L.O., CALDWELL M.M., 1998: Changes in Biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 46: 5-19.
- MARTINČIČ – SUŠNIK, 1961: Poznate strupene rastline? Cankarjeva založba, Ljubljana: 104-105.
- MARTINČIČ A., WRABER T., JOGAN N., PODOBNIK A., TURK B., VREŠ B., 2007: Mala flora Slovenije: ključ za določanje praprotnic in semenk. 4. izdaja. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 481 str.
- NEGASH L., BJÖRN L.O., 1986: Stomatal closure by ultraviolet radiation. *Physiologia Plantarum*, 66: 360-364.
- PETAUER T., 1993: Leksikon rastlinskih bogastev, 1 izdaja. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana: 162-163.
- ROZEMA J., BJÖRN L.O., BORNMAN J.F., GABERŠČIK A., HÄDER D.P., TROŠT T., GERM M., KLISCH M., GRÖNIGER A., SINHA R.P., LEBERT M., HE Y.Y., BUFFONI-HALL R., DE BAKKER N.V.J., VAN DE STAAL J., MEIJKAMP B.B., 2002: The role of UV-B radiation in aquatic and terrestrial ecosystems – an experimental and functional analysis of the evolution of UV-absorbing compounds. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 66:2-12.
- ROZEMA J., VAN DE STAAL J., BJÖRN L.O., CALDWELL M., 1997: UV-B as an environmental factor in plant life: stress and regulation. *Tree*, 12, 1: 22-28.
- SARIJEVA G., KNAPP M., LICHTENTHALER H.K., 2007: Differences in photosynthetic activity, chlorophyll and carotenoid levels, and in chlorophyll fluorescence parameters in green sun and shade leaves of Ginkgo and Fagus. *Journal of Plant Physiology*, 164: 7, 950-955.

- SCHREIBER U., BILGER W., NEUBAUER C., 1995: Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: Ecophysiology of photosynthesis. Schulze E.D., Caldwell M.M. (eds.), Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, New York: 49-61.
- SCHULZE E.D., BECK E., MÜLLER-HOHENSTEIN K., 2005: Plant Ecology, Springer, Berlin.
- YAO Y., XUAN Z., HE Y., LUTTS S., KORPELAINEN H., LI C., 2007: Principal component analysis of intraspecific responses of tartary buckwheat to UV-B radiation under field conditions. Environmental and Experimental Botany, 61, 3: 237-245.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1993: Report of the second meeting of the ozone research managers of parties to the Vienna convention for the protection of the ozone layer, Geneva, pp. 1-63.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici Alenki Gaberščik za prijazno in sproščeno vzdušje, pomoč in nasvete pri izvedbi in pisanju diplomskega dela.

Prav tako se zahvaljujem somentorju Jožetu Bavconu za vsestransko pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se Marini Dermastia in Nejcu Joganu za pregled in recenzijo diplomske naloge.

Hvala vsem ostalim s Katedre za ekologijo in varstvo okolja in Katedre za botaniko, ki so pripomogli k nastanku diplomskega dela.

Hvala Mateji Germ za določitev vsebnosti UV absorbirajočih snovi.

Za prijetno družbo, koristne nasvete in praktično znanje se zahvaljujem Jožetu, Alenki, Janji, Meti, Abdulahu in Srečku iz Botaničnega vrta v Ljubljani.

Jure, Tadeja, Andraž, Katja, Mojca, Nataša, Sonja, Petra, Blanka, Nives, Janja, Monika,....., hvala vam za prijetne urice na faksu in vso pomoč pri študiju.

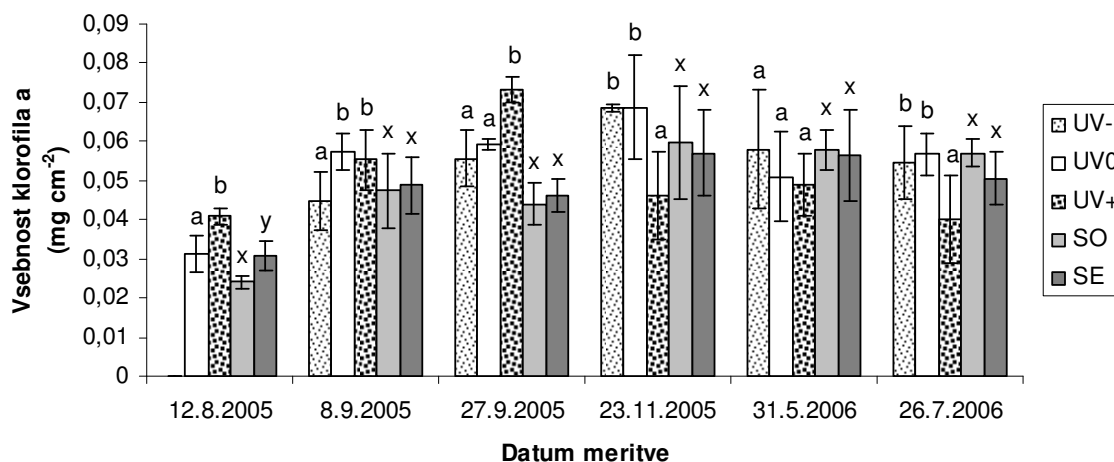
Hvala mojim domačim za vso podporo, ki sem jo imela skozi čas študija.

Navsezadnje hvala mojemu Duškotu za vso podporo.

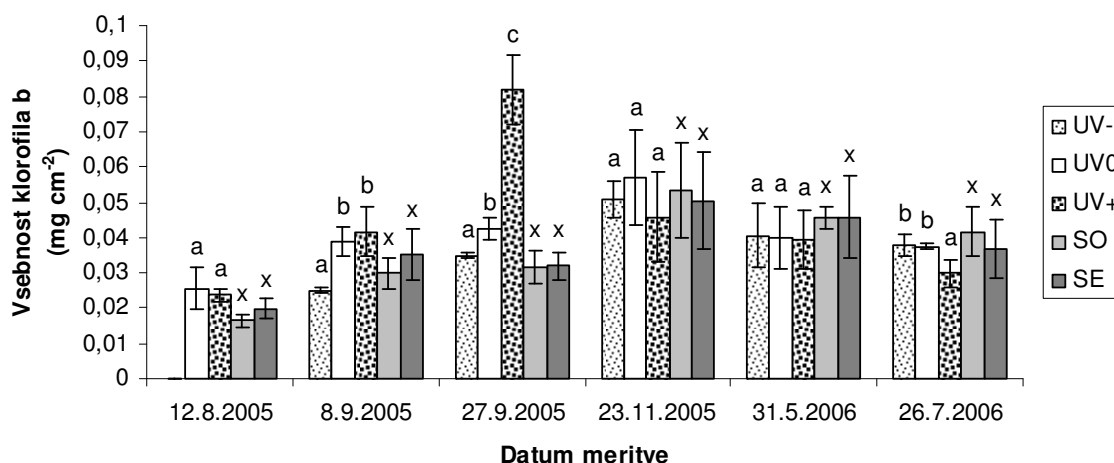
Priloga A

Vsebnost klorofila a in b na površino lista ciklame

a)

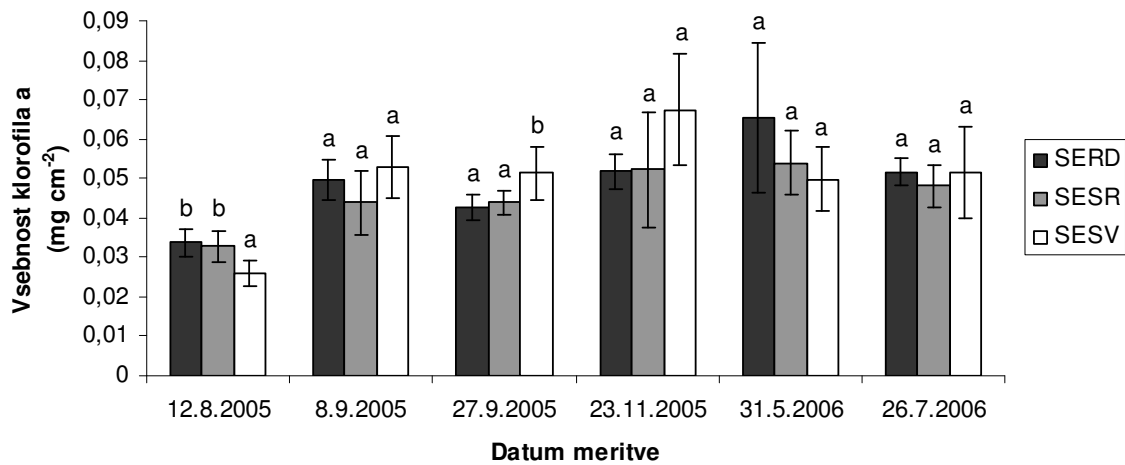


b)

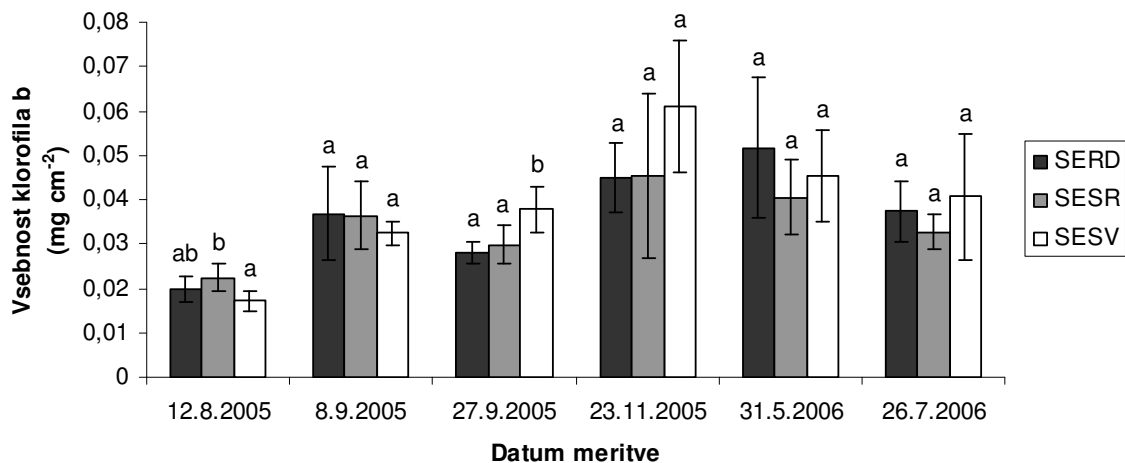


Slika 18. Vsebnost klorofila a (a) in klorofila b (b) na enoto površine lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, $\text{avg} \pm \text{SD}$). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).

a)



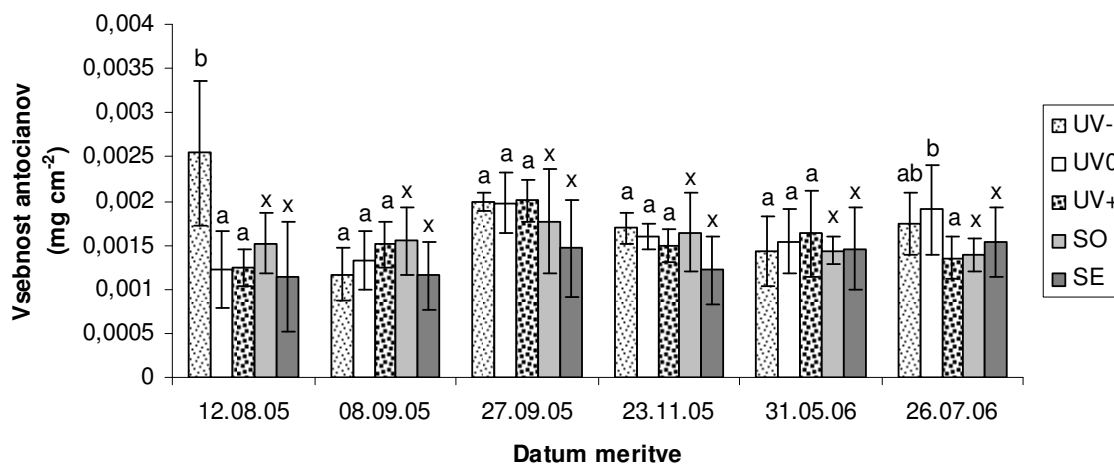
b)



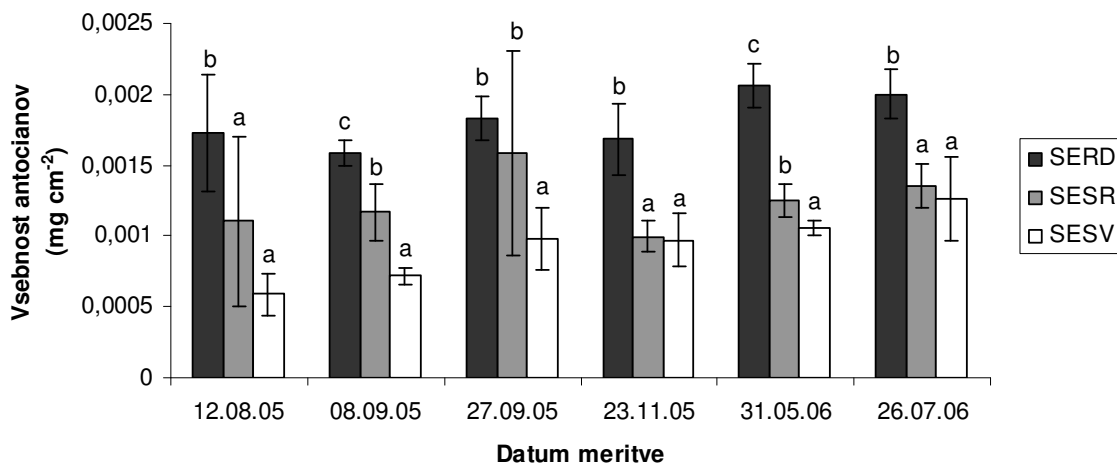
Slika 19. Vsebnost klorofila a (a) in klorofila b (b) na enoto površine lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame, pri rastlinah zraslih v senčnih razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, $\text{avg} \pm \text{SD}$). Stolpci označeni z različnimi črkami so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).

Priloga B

Vsebnost antocianov na površino lista ciklame



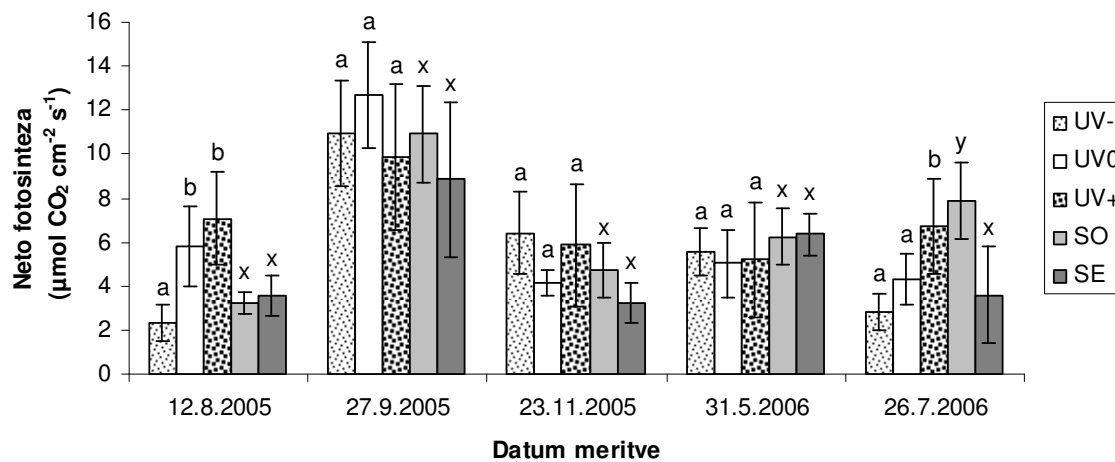
Slika 20. Vsebnost antocianov na enoto površine lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povečanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, avg $\pm$ SD). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).



Slika 21. Vsebnost antocianov na enoto površine lista ciklame (*Cyclamen purpurascens*) pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame, pri rastlinah zraslih v senčnih razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, avg $\pm$ SD). Stolpci označeni z različnimi črkami so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).

Priloga C

Neto fotosinteza na površino lista ciklame



Slika 22. Neto fotosinteza pri navadni ciklami (*Cyclamen purpurascens*) pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povečanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih (SE) razmerah. Vrednosti so povprečja 5 paralelnih vzorcev ($n=5$, $\text{avg} \pm \text{SD}$). Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike med rastlinami, ki so rastle pod različno jakostjo UV-B sevanja. Črki x, y označujeta statistično značilne razlike med rastlinami zraslimi v sončnih in senčnih razmerah. Stolpci, označeni z različnimi črkami, so statistično različni (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; $n=5$).

Priloga D

Statistična analiza vpliva sezone

Preglednica 1: Rezultati statistične analize vpliva sezone na vsebnost klorofilov, UV-abs. pigmentov, antocianov, vrednosti transpiracije, fotosinteze in fotokemične učinkovitosti pri znižanem (UV-), naravnem (UV0) in povišanem (UV+) UV-B sevanju, sončnih (SO) in senčnih razmerah pri rdeči (SERD), srednje obarvani (SESR) in svetlo zeleni (SESV) spodnji površini lista ciklame. Črke označujejo statistično značilne razlike (enosmerna ANOVA; 95 % LSD metoda; n=5).

DATUM	12.08.05	08.09.05	27.09.05	23.11.05	31.05.06	26.07.06
KLOROFILI						
Kl. a/s.m.						
UV-		b	ab	a	a	a
UV0	a	c	b	b	ab	b
UV+	b	c	bc	a	a	a
SO	a	c	b	ab	b	ab
SERD	a	b	b	a	a	a
SESR	ab	c	bc	ab	a	ab
SESV	ab	c	b	ab	a	b
Kl. a/P						
UV-		a	a	b	ab	a
UV0	a	b	b	b	b	b
UV+	a	b	c	ab	ab	a
SO	a	bc	b	bc	c	c
SERD	a	bc	b	c	c	c
SESR	a	b	b	b	bc	b
SESV	a	b	b	c	b	b
Kl. b/s.m.						
UV-		b	ab	b	ab	a
UV0	a	bc	ab	abc	abc	ab
UV+	a	b	c	a	a	a
SO	a	d	ab	cd	bc	ab
SERD	a	bc	b	b	ab	ab
SESR	a	b	a	ab	a	a
SESV	a	b	a	ab	a	ab
Kl. b/P						
UV-		a	b	c	bc	b
UV0	a	b	bc	c	b	b
UV+	a	c	d	c	bc	b
SO	a	b	b	c	c	c
SERD	a	bc	b	c	c	c
SESR	a	bc	b	bc	c	bc
SESV	a	b	b	c	bc	bc
Kl. a/b						
UV-		b	ab	a	ab	ab
UV0	a	bc	abc	a	ab	c
UV+	d	c	a	b	c	c
SO	bc	c	bc	a	ab	bc
SERD	c	abc	b	a	ab	b
SESR	ab	ab	b	a	ab	b
SESV	bc	c	ab	a	a	ab

ANTOCIANI						
Ant./s.m.						
UV-	c	ab	b	a	a	a
UV0	ab	ab	b	a	ab	b
UV+	b	b	b	a	ab	a
SO	c	c	bc	ab	b	a
SERD	cd	c	d	a	ab	b
SESR	bc	cd	cd	a	ab	c
SESV	c	c	bc	a	b	c
Ant./P						
UV-	bc	a	bc	b	ab	b
UV0	a	a	b	ab	ab	b
UV+	a	a	b	a	ab	a
SO	a	a	a	a	a	a
SERD	a	a	bc	ab	d	cd
SESR	a	bc	c	ab	c	c
SESV	a	a	b	b	b	b
UV-ABSORBIRAJOČE SNOVI						
UV-A/s.m.						
UV-	ab	c	b	a		ab
UV0	a	bc	b	c		bc
UV+	a	ab	b	c		a
SO	a	c	bc	a		b
SERD	a	a	b	a		a
SESR	a	bc	c	abc		ab
SESV	a	a	b	a		b
UV-A/P						
UV-	a	b	b	b		b
UV0	a	b	c	d		c
UV+	a	d	b	c		ab
SO	a	b	c	c		cd
SERD	a	a	ab	b		b
SESR	a	ab	c	dc		bc
SESV	a	b	c	c		c
UV-B/s.m.						
UV-	bc	d	c	a		b
UV0	a	b	ab	a		b
UV+	a	b	ab	b		a
SO	ab	d	cd	a		bc
SERD	b	c	d	a		b
SESR	a	b	b	a		a
SESV	ab	bc	d	a		cd
UV-B/P						
UV-	a	b	bc	b		c
UV0	a	b	c	d		c
UV+	a	b	c	c		b
SO	a	b	c	bc		d
SERD	a	b	c	abc		bc
SESR	a	ab	b	b		b
SESV	a	b	c	c		c

TRANSPIRACIJA						
UV-			b	a	c	c
UV0			b	a	b	b
UV+			b	a	c	c
SO			b	a	b	a
SE			b	a	c	ab
FOTOSINTEZA						
Neto f./s.m.						
UV-	ab		c	b	b	a
UV0	b		c	a	a	a
UV+	bc		c	a	ab	abc
SO	ab		c	a	ab	b
SE	b		c	a	b	ab
Neto f./P						
UV-	a		c	b	b	a
UV0	a		b	a	a	a
UV+	ab		b	a	a	ab
SO	a		d	ab	bc	c
SE	a		b	a	b	a
FOTOKEMIČNA UČINKOVITOST						
Fv/Fm						
UV-	a	ab	b	b	b	b
UV0	a	ab	c	bc	abc	abc
UV+	ab	a	ab	a	b	ab
SO	a	bc	b	bc	bc	c
SE	a	ab	b	b	ab	ab
Yield						
UV-	a	b	b	b	b	a
UV0	ab	d	c	bc	ab	a
UV+	b	b	b	b	b	a
SO	ab	b	a	ab	b	a
SE	b	b	a	ab	ab	b