

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Lucija VERDNIK

**VPLIV GLIVNE KOLONIZACIJE NA FIZIOLOŠKE
PARAMETRE VELIKEGA POLETNEGA ZVONČKA,
TOGEGA ŠAŠA, VISOKEGA TRPOTCA
TER MOČVIRSKEGA GRINTA
NA CERKNIŠKEM JEZERU**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Lucija VERDNIK

**VPLIV GLIVNE KOLONIZACIJE NA FIZIOLOŠKE PARAMETRE
VELIKEGA POLETNEGA ZVONČKA, TOGEGA ŠAŠA, VISOKEGA
TRPOTCA TER MOČVIRSKEGA GRINTA
NA CERKNIŠKEM JEZERU**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

**INFLUENCE OF FUNGAL COLONIZATION ON PHYSIOLOGICAL
PARAMETERS OF *LEUCOJUM AESTIVUM*,
CAREX ELATA, *PLANTAGO ALTISSIMA*, *SENECIO PALUDOSUS*
AT CERKNICA LAKE**

GRADUATION THESIS

University studies

Ljubljana, 2012

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo na Katedri za ekologijo in varstvo okolja Oddelka za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je za mentorico diplomskega dela imenovala prof. dr. Alenko Gaberščik.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: doc. dr. Aleš Kladnik
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Recenzentka: doc. dr. Katarina Vogel-Mikuš
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

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

Datum zagovora: 18.9.2012

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

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Lucija VERDNIK

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn
- DK 581.5:581.18(497:4Cerkniško jezero)(043.2)=163.6
- KG Glivna kolonizacija/Cerkniško jezero/*Leucojum aestivum* /*Plantago altissima* /*Carex elata* /*Senecio paludosus*
- AV VERDNIK, Lucija
- SA GABERŠČIK, Alenka (mentor)
- KZ SLO, 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
- LI 2012
- IN VPLIV GLIVNE KOLONIZACIJE NA FIZIOLOŠKE PARAMETRE VELIKEGA POLETNEGA ZVONČKA, TOGEGA ŠAŠA, VIŠKEGA TRPOTCA TER MOČVIRSKEGA GRINTA NA CERNIŠKEM JEZERU
- TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
- OP XI, 44 str., 1 pregl., 24 sl., 4 pril., 56 vir.
- IJ sl
- Jl sl/en
- AI V diplomskem delu smo v rastni sezoni 2009/2010 na območju Cerkniškega jezera, preučevali glivno kolonizacijo in njen obseg, pri koreninah visokega trpotca (*Plantago altissima*), močvirskega grinta (*Senecio paludosus*), togega šaša (*Carex elata*) in velikega poletnega zvončka (*Leucojum aestivum*). Stopnjo glivne kolonizacije smo naključno izbranim rastlinam določili po barvanju korenin s tripan modrim (Philips in Hayman, 1970) ter s pomočjo šeststopenjske lestvice po Trouvelot in sod. (1986). Potrdili smo kolonizacijo pri vseh štirih vrstah. Togi šaš s šopastim koreninskim sistemom je izkazoval najnižji obseg kolonizacije. Veliki poletni zvonček, ki je geofit z čebulico pa je bil močno koloniziran (visoki deleži F % in M %). Vrednosti potencialne fotokemične učinkovitosti so pokazale vitalnost in dobro prilagojenost trenutnim rastnim razmeram na rastišču. V koreninskem sistemu rastlin so najvišje gostote glivnih struktur imeli vezikli, razen pri močvirskem grintu, kjer so bili pogostejši svitki. Pogostnost arbuskulov je bila pri vseh vrstah nizka in ni dosegla 1 %. Tudi temno septirani endofiti niso bili pogosti. Za veliki poletni zvonček do sedaj v literaturi še ni bilo objavljenih podatkov o kolonizaciji z DSE.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dn
- DC 581.5:581.18(497:4Cerkniško jezero)(043.2)=163.6
- CX Fungal colonization/Lake Cerknica /*Leucojum aestivum*/ *Plantago altissima* /*Carex elata* /*Senecio paludosus*
- AU VERDNIK, Lucija
- AA GABERŠČIK, Alenka (supervisor)
- PP SI – Ljubljana, Večna pot 111
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology
- PY 2012
- TI INFLUENCE OF FUNGAL COLONIZATION ON PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF *LEUCOJUM AESTIVUM*, *CAREX ELATA*, *PLANTAGO ALTISSIMA*, *SENECIO PALUDOSUS* AT CERKNICA LAKE
- DT Graduation Thesis (University studies)
- NO XI, 44 p., 1 tab., 24 fig., 4 ann., 56 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB Graduation thesis focused on fungal colonization and its levels at Cerknica Lake in growing season 2009/2010. Four species *Plantago altissima*, *Senecio paludosus*, *Carex elata* and *Leucojum aestivum* was examined. The level of root fungal colonization was assessed according to Trouvelot et al. (1986) after staining the roots with trypan blue (Philips and Hayman, 1970). Fungal colonization was confirmed in all four examined plant species. *Carex elata* intensive root system with abundant root hairs exhibited the lowest level of colonization. The frequency of fungal colonization of *Leucojum aestivum*, a geophyte with bulbous root system, was high. The same applies for the global mycorrhizal intensity in the root cortex. Values of potential photochemical efficiency revealed good plant fitness. The most common fungal structures observed in root cortex of investigated plant species were vesicles; in *Senecio paludosus* on the other hand coils were more frequent. The amount of arbuscules in all species was sparse, below 1 %. Dark septate endophytes (DSE) were also rare. The presence of DSE colonization in *Leucojum aestivum* is reported for the first time.

KAZALO VSEBINE

| | |
|--|-------------|
| KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA | III |
| KEY WORDS DOCUMENTATION | IV |
| KAZALO VSEBINE | V |
| KAZALO PREGLEDNIC..... | VII |
| KAZALO SLIK | VIII |
| OKRAJŠAVE IN SIMBOLI | XI |
| | |
| 1 UVOD | 1 |
| 2 PREGLED OBJAV..... | 3 |
| 2.1 CERKNIŠKO JEZERO KOT HABITAT | 3 |
| 2.2 GLIVNA KOLONIZACIJA | 4 |
| 2.3 GLIVNI ENDOFITI | 4 |
| 2.4 MIKORIZA | 5 |
| 2.4.1 Arbuskularna mikoriza..... | 5 |
| 2.4.2 Temno septirani endofiti..... | 7 |
| 3 MATERIAL IN METODE DELA | 9 |
| 3.1 TERENSKO DELO | 9 |
| 3.1.1 Mesto raziskav | 9 |
| 3.1.2 Predmet raziskav | 12 |
| 3.1.3 Fiziološki parametri..... | 16 |
| 3.2 LABORATORIJSKO DELO | 17 |
| 3.2.1 Ocena glivne kolonizacije | 17 |
| 3.2.2 Statistična analiza | 17 |
| 4 REZULTATI..... | 19 |
| 4.1 FIZIOLOŠKI PARAMETRI..... | 19 |
| 4.1.1 Transpiracija | 19 |
| 4.1.2 Fotokemična učinkovitost..... | 20 |
| 4.2 GLIVNA KOLONIZACIJA | 22 |
| 4.2.1 Frekvenca glivne kolonizacije (F %) preučevanih rastlin | 22 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 4.2.2 | Splošna intenziteta glivne kolonizacije (M %) preučevanih rastlin..... | 22 |
| 4.2.3 | Gostota glivnih struktur togega šaša (<i>Carex elata</i>)..... | 24 |
| 4.2.4 | Gostota glivnih struktur velikega poletnega zvončka (<i>Leucojum aestivum</i>)..... | 25 |
| 4.2.5 | Gostota glivnih struktur visokega trpotca (<i>Plantago altissima</i>)..... | 26 |
| 4.2.6 | Gostota glivnih struktur močvirskega grinta (<i>Senecio paludosus</i>) | 27 |
| 4.3 | GLIVNE STRUKTURE V KOLONIZIRANIH DELIH KORENINSKEGA SISTEMA | 28 |
| 4.4 | GOSTOTA GLIVNIH STRUKTUR V KORENINAH PREUČEVANIH RASTLIN | 29 |
| 4.4.1 | Gostota arbuskulov pri obravnavanih rastlinskih vrstah | 29 |
| 4.4.2 | Gostota mikrosklerocijev pri obravnavanih rastlinskih vrstah | 30 |
| 4.4.3 | Gostota svitkov pri obravnavanih rastlinskih vrstah..... | 31 |
| 4.4.4 | Gostota veziklov pri obravnavanih rastlinskih vrstah..... | 32 |
| 4.5 | POVEZANOST GLIVNE KOLONIZACIJE TER RASTNIH IN FIZIOLOŠKIH PARAMETROV | 33 |
| 4.5.1 | Fiziološki parametri..... | 33 |
| 4.5.2 | Rastni parametri | 33 |
| 5 | RAZPRAVA IN SKLEPI..... | 35 |
| 5.1 | RAZPRAVA | 35 |
| 5.1.1 | Glivna kolonizacija in mokrišča | 35 |
| 5.1.2 | Glivna kolonizacija in koreninski sistem rastlin | 36 |
| 5.1.3 | Vitalnost rastlin in glivna kolonizacija | 38 |
| 5.2 | SKLEPI..... | 39 |
| 6 | POVZETEK | 40 |
| 7 | VIRI..... | 41 |

ZAHVALA

PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

| | |
|---|----|
| Preglednica 1: Rastna oblika, oblika koreninskega sistema in glivni status preučevanih taksonov | 14 |
|---|----|

KAZALO SLIK

| | |
|---|----|
| Slika 1: Glivne strukture (vezikli (*)) in mikrosklerociji (→) v korteksu korenin velikega poletnega zvončka (<i>Leucojum aestivum</i>) | 6 |
| Slika 2: Arbuskul v korteksu korenine visokega trpotca (<i>Plantago altissima</i>)..... | 7 |
| Slika 3: Topografski zemljevid Cerknškega jezera (http://www.geopedia.si , april 2012) . | 11 |
| Slika 4: Sestoj močvirskega grinta (<i>Senecio paludosus</i>) na Cerknškem jezeru. (foto: A. Gaberščik) | 12 |
| Slika 5: Visoki trpotec (<i>Plantago altissima</i>). Foto: A. Gaberščik..... | 13 |
| Slika 6: Veliki poletni zvonček (<i>Leucojum aestivum</i>) na Dolenjem jezeru. Foto: A. Gaberščik..... | 13 |
| Slika 7: Togi šaš (<i>Carex elata</i>) v Zadnjem Kraju. Foto: A. Gaberščik | 14 |
| Slika 8: Vodostaj jezera v mesecu juliju 2009 na merilnem mestu Dolenje jezero. Vzorčni rastlini sta močvirski grint in visoki trpotec. Puščica označuje datum meritve. (vir: ARSO) | 15 |
| Slika 9: Vodostaj jezera v mesecu maju 2010 na merilnem mestu Dolenje jezero. Vzorčna rastlina je veliki poletni zvonček. Puščica označuje datum meritve. (vir: ARSO)..... | 15 |
| Slika 10: Vodostaj jezera v mesecu avgustu 2010 na merilnem mestu Dolenje jezero. Vzorčna rastlina je togi šaš. Puščica označuje datum meritve (12. 8.). (vir: ARSO) | 16 |
| Slika 11: Primerjava transpiracije pri preučevanih rastlinah v rastni sezoni 2009/2010. Podatki so predstavljeni kot aritmetična sredina ± SD. Črke nad stolpci predstavljajo statistično značilne razlike med vrstami (p <0,05). n= 10 (Pla alt = <i>Plantago altissima</i> , Sen pal = <i>Senecio paludosus</i>) in n=12 (Car ela = <i>Carex elata</i> , Leu aes = <i>Leucojum aestivum</i>). | 19 |
| Slika 12: Potencialna fotokemična učinkovitost(Fv/Fm) pri preučevanih rastlinah v rastni sezoni 2009/2010. Podatki so predstavljeni kot aritmetična sredina ± SD. Črke nad stolpci predstavljajo statistično značilne razlike med vrstami (p <0,05). n= 10(Pla alt = <i>Plantago</i> | |

altissima, Sen pal = *Senecio paludosus*) in n=12 (Car ela = *Carex elata*, Leu aes = *Leucojum aestivum*).20

Slika 13: Dejanska fotokemična učinkovitost (Y) pri preučevanih rastlinah v rastni sezoni 2009/2010. Podatki so predstavljeni kot aritmetična sredina \pm SD. n= 10(Pla alt = *Plantago altissima*, Sen pal = *Senecio paludosus*) in n=12 (Car ela = *Carex elata*, Leu aes = *Leucojum aestivum*).21

Slika 14: Frekvenca glivne kolonizacije (F%) togega šaša (Car ela), visokega trpotca (Pla alt), močvirskega grinta (Sen pal) in velikega poletnega zvončka (Leu aes). Rezultati so podani kot box-plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Črke predstavljajo statistično značilne razlike med vrstami ($p < 0,05$).22

Slika 15: Splošna intenziteta glivne kolonizacije (M %) togega šaša (Car ela), visokega trpotca (Pla alt), močvirskega grinta (Sen pal) in velikega poletnega zvončka (Leu aes). Rezultati so podani kot box-plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Črke predstavljajo statistično značilne razlike med vrstami ($p < 0,05$).23

Slika 16: Prisotnost arbuskulov (A), veziklov (V), mikrosklerocijev (MS) ter svitkov (S) v koreninskem sistemu togega šaša (*Carex elata*). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o).24

Slika 17: Prisotnost arbuskulov (A), veziklov (V), mikrosklerocijev (MS) ter svitkov (S) v koreninskem sistemu velikega poletnega zvončka (*Leucojum aestivum*). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o).25

Slika 18: Prisotnost arbuskulov (A), veziklov (V), mikrosklerocijev (MS) ter svitkov (S) v koreninskem sistemu visokega trpotca (*Plantago altissima*). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o).26

Slika 19: Prisotnost arbuskulov (A), veziklov (V), mikrosklerocijev (MS) ter svitkov (S) v koreninskem sistemu močvirskega grinta (*Senecio paludosus*). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o).27

Slika 20: Prisotnost arbuskulov (a), veziklov (v), mikrosklerocijev (ms) ter svitkov (s) v koloniziranem delu koreninskega sistema togega šaša (*Carex elata*). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o).28

Slika 21: Pogostnost arbuskulov v koreninskem sistemu togega šaša (Car ela), velikega poletnega zvončka (Leu aes), visokega trpotca (Pla alt) ter močvirskega grinta (Sen pal). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o).29

Slika 22: Pogostnost struktur temno septiranih endofitov v koreninskem sistemu togega šaša (Car ela), velikega poletnega zvončka (Leu aes), visokega trpotca (Pla alt) ter močvirskega grinta (San pal). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Črke predstavljajo statistično značilne razlike med vrstami ($p < 0,05$).30

Slika 23: Pogostnost svitkov v koreninskem sistemu togega šaša (Car ela), velikega poletnega zvončka (Leu aes), visokega trpotca (Pla alt) ter močvirskega grinta (Sen pal). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Črke predstavljajo statistično značilne razlike med vrstami ($p < 0,05$).31

Slika 24: Pogostnost veziklov v koreninskem sistemu togega šaša (Car ela), velikega poletnega zvončka (Leu aes), visokega trpotca (Pla alt) ter močvirskega grinta (Sen pal). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Črke nad stolpci predstavljajo statistično značilne razlike med vrstami ($p < 0,05$).32

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AM- arbuskularna mikoriza

DSE- temno septirani endofiti

TRANS transpiracija

F_v/F_m potencialna fotokemična učinkovitost

Y dejanska fotokemična učinkovitost

PPFD gostota toka fotonov fotosintezno aktivnega spektra sevanja

Imena rastlin:

Leu aes – *Leucjum aestivum* L.

Pla alt – *Plantago altissima* L.

Sen pal – *Senecio paludosus* L.

Car ela – *Carex elata* All.

1 UVOD

Glive igrajo pomembno vlogo pri uspešnosti rastlin v različnih ekosistemih. Aktivno sodelujejo pri interakcijah z drugimi organizmi, ki so prisotni v pedosferi ter s tem posredno vplivajo tudi na njeno sestavo. Glivni endofiti so raznolika skupina z različnimi funkcijami v kopenskih ekosistemih ter pomembno vplivajo na preživetje rastlin in na splošno vitalnost ter prilagojenost rastline.

Cerkniško jezero je kompleksen ekosistem, kjer številni dejavniki vplivajo drug na drugega. Z ugodno geografsko lego ter presihajočo naravo zagotavlja primerne razmere za uspevanje različnih skupin živali in rastlin. Spremembe vodne gladine so najizrazitejše v začetku pomladi in v jesenskih mesecih. Različna količina vode v zaprti kotanji z ravnim dnom, vzdržuje prisotne življenjske združbe. Njihovi predstavniki so se tekom razvoja uspešno prilagodili na ekstremne razmere in glivna kolonizacija naj bi predstavljala poleg amfibijskega značaja rastlin, pomembno pridobitev.

Glivne povezave, ki so lahko koristne, škodljive ali nevtralne, prispevajo v primeru mutualističnega odnosa k zaščiti gostiteljske rastline in boljši oskrbi z esencialnimi hranili (npr. fosfor) kar je v mokriščih zaradi revnih tal, še posebej pomembno.

V diplomski nalogi smo preučevali glivno kolonizacijo korenin velikega poletnega zvončka, togega šaša, visokega trpotca in močvirskega grinta na Cerkniškem jezeru, ki rastejo v plitvi vodi v začetku rastne sezone in kasneje na kopnem. Zanimali sta nas prisotnost in obseg kolonizacije z glivami in kakšne razlike lahko pričakujemo v kolonizaciji glede na njihove različne rastne oblike.

Predpostavljali smo,

- da bodo imele različne vrste, ki rastejo v podobnih razmerah, različno stopnjo glivne kolonizacije,
- da se bodo poleg struktur arbuskularne mikorize (arbuskuli, vezikli, svitki) v koreninah, pojavljale tudi strukture temno septiranih endofitov (mikrosklerociji),
- da je rastna oblika in oblika koreninskega sistema rastline povezana z obsegom glivne kolonizacije,

- da bo stopnja kolonizacije povezana s fiziološkimi parametri (fotokemično učinkovitostjo in stopnjo transpiracije).

2 PREGLED OBJAV

2.1 CERKNIŠKO JEZERO KOT HABITAT

Cerkniško jezero je mokrišče mednarodnega pomena, kjer najdemo različne biotope. Zanj je značilna velika biotska raznovrstnost, ki jo zagotavljajo spremembe vodostaja. Spreminjanje vodne gladine ter izmenjava suhih obdobj s poplavljanjem oblikuje ekosistem in vpliva na fizikalne, kemijske in biološke procese na območju jezera.

Na začetku suhega obdobja je dekompozicija organske snovi pospešena zaradi dodatnega kisika. Ob ponovnem poplavljanju se sproščajo hranilne snovi, kar omogoča rast primarnim producentom (Gaberščik in sod., 2003).

Hidrološke spremembe, poleg različnih tal, pomembno vplivajo na celotno floro in favno Cerknškega polja s Cerknškim jezerom. Na obrobju vsakoletnih poplav so Dujice, kjer so prava šotna tla (Martinčič, 2003) in območje Gorenjega Jezera, kjer tla vsebujejo veliko organske snovi in hranil (24 mg P/100 g tal)(Dolinar in sod., 2011).

Na Cerknškem jezeru uspevajo različne rastlinske združbe. Vodne združbe so omejene predvsem na struge in različne uleknine, kjer je voda prisotna najdlje. Na obrobju poplavnega območja so barjanske združbe in združbe mokrotnih travnikov, ki so že ob začetku vegetacijskega obdobja na suhem, poleti pa se tla precej izsušijo. Prisotnost močvirskih združb je vezana na predele, kjer se voda zadrži do dveh mesecev, ob presihanju pa tla ostanejo vlažna (Martinčič in Leskovar, 2003).

Rastlinske vrste so na spremenljive vodne razmere različno prilagojene. Zaradi presihanja, je vodnih vrst malo, amfibijske rastline pa so morfološko, biokemijsko in fiziološko prilagojene na spremembe vodostaja, zato prevladujejo (Šraj-Kržič in sod., 2009). Nekatere vrste, kot sta npr. močvirski grint (*Senecio paludosus L.*) in visoki trpotec (*Plantago altissima L.*) pokažeta amfibijski značaj le v predelih, kjer ostane voda do popolne presahnitve, drugod pa sta običajni močvirski vrsti (Martinčič, 2003).

2.2 GLIVNA KOLONIZACIJA

Razmerje med organizmoma v povezavi je lahko koristno, škodljivo ali pa prinaša korist samo enemu od partnerjev. Mutualistična povezava povečuje sposobnost preživetja obeh udeležencev v simbiozi (Smith in Read, 1997; Brundrett, 1991), pomembno vpliva na dostopnost in razpoložljivost hranil ter pomeni tudi razširitev ekološke niše (Reynolds in sod., 2003; Varma, 1999). Simbiozo opredelimo kot sobivanje dveh organizmov.

V rizosferi so korenine rastline v stiku z različnimi organizmi. Koristna povezava med glivami in rastlinami vključuje mikorizne povezave, lišaje in endofite (Jurc, 1994). Mikoriz je več vrst. Med njimi je arbuskularna mikoriza, ki je obligatni tip mikorize, najbolj pogosta in pojavlja se pri preko 80 % cvetočih rastlin (Wang in Qiu, 2006).

Glivna kolonizacija ima pomembno vlogo pri kroženju hranil in pretoku energije. Tip in intenziteta kolonizacije vplivata na stopnjo razgradnje snovi v tleh (Langley in sod., 2003) ter na dostopnost vode (Auge, 2004). Hife naj bi povečale absorpcijsko površino kar do 1000-krat (Larcher, 2003). Različni avtorji poročajo o izboljšani rasti gostiteljske rastline, odpornosti na različne oblike stresa, še posebno pri rastlinah, ki uspevajo na s hranili revnih tleh.

Na glivno kolonizacijo vplivajo različni dejavniki, od koncentracije težkih kovin (Regvar in Vogel-Mikuš, 2008), lastnosti rizosfere kot tudi razpoložljivost hranil (Brundrett, 1991). Tako visoke vsebnosti fosforja v tleh ali visok delež organske snovi zavira glivno kolonizacijo (Larcher, 2003). Prav tako tudi slanost vpliva nanjo negativno. Ugodne hidrološke razmere z višjo dostopnostjo kisika in prilagoditve kot so zračno tkivo, zvišujejo potencial za kolonizacijo (Šraj-Kržič 2007, Voesenek in sod., 2006).

2.3 GLIVNI ENDOFITI

Z izrazom endofit Petrini (1996) opiše vse organizme, ki so kadarkoli v njihovem življenjskem ciklu, prisotni v tkivu rastline in pri tem ne povzročajo znakov okužbe. Najdemo jih v različnih rastlinskih organih, od korenin, listov in stebel. Brundret (2006) navaja, da imajo endofiti šibek pozitiven ali negativen vpliv na rastlino in ne povzročajo vidnih poškodb tkiv gostiteljske rastline. Pri prenosu hranil gre za pasiven in ne aktiven transport. Zaklju-

čuje, da endofiti niso simbiotski organizmi, vendar je lahko endofitizem le faza glive v celotnem življenjskem ciklu.

Endofiti so lahko specializirani na nivoju družine (Rodriguez in sod., 2009) ali pa so prisotni v številnih podnebjih in na različnih rastiščih. Najbolj raziskani so endofiti trav, saj sem uvrščamo tudi pomembne industrijske rastline (Jurc, 1994). V tkivu svojega gostitelja proizvajajo lahko fiziološko aktivne alkaloidne, ki vplivajo med drugim tudi na strupenost rastline za herbivore (Weber, 2009). Tako z varovanjem svojega gostitelja posredno ohranjajo tudi svoj življenjski prostor in vir hrane (Clay, 1990).

2.4 MIKORIZA

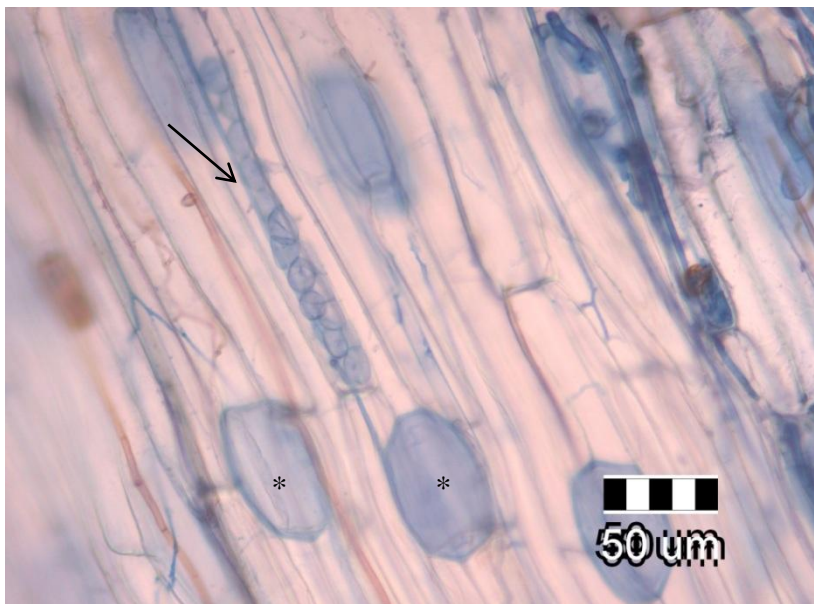
Mikoriza je mutualistična povezava med različnimi vrstami gliv in koreninami rastlin. Gliva od rastline prejme ogljikove spojine, nastale v procesu fotosinteze, rastline pa črpajo mineralna hranila. Vpliva na dostopnost hranil s povečevanjem dostopnega volumna prsti rastlini (Smith in Read, 1997) ter s spreminjanjem hranil v rastlini dostopno obliko. Nudi zaščito pred paraziti. Ločimo endomikorizo, kjer glive tvorijo arbuskule, svitke in vezikle v in znotraj koreninske skorje (slika 1) in ektomikorizo. Slednjo, ki je bolj pogosta pri lesnatih rastlinah, prepoznamo po Hartigovi mreži, ki se razrašča med celicami koreninske skorje in plašču, gosti mreži hif, ki obdaja zunanost korenine, gliva pa ne vstopa preko celične stene v notranost celice (Brundrett, 1991).

Obstajajo tudi družine, katerih predstavniki običajno ne tvorijo obligatnih povezav z mikoriznimi glivami oz. če jih, so te fakultativne ali pa so bile vzpostavljene v laboratorijskem okolju pod določenimi pogoji. Takšni so predstavniki iz družin protejevok (Proteaceae), križnic (Brassicaceae) in ščirovk (Amaranthaceae) (Muthukumar in sod., 2004). Rastline iz nemikoriznih družin uporabljajo različne mehanizme za pridobivanje hranil in zaščito pred patogeni, kot so oblika koreninskega sistema, dauciformne korenine ter sekundarni metaboliti (Lambers in sod., 2006).

2.4.1 Arbuskularna mikoriza

Predstavniki iz debla Glomeromycota (Stuermer, 2012) oskrbujejo gostiteljsko rastlino s hranili, v zameno pa pridobijo vir ogljika v obliki fotosinteznih produktov. Simbioza z AM

glivami je nespecifična in tako je posamezna vrsta glive sposobna kolonizirati veliko različnih vrst rastlin (Brundrett, 1991; Hart in sod., 2003).

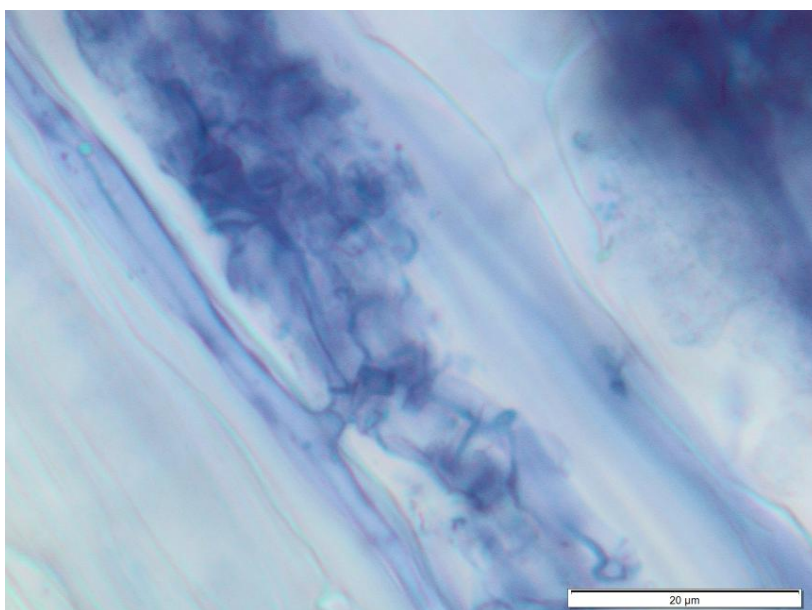


Slika 1: Glivne strukture (vezikli (*)) in mikrosklerociji (→) v korteksu korenin velikega poletnega zvončka (*Leucojum aestivum*)

Rastline z AM imajo izboljšano rast (posebno v okoljih z omejenimi zalogami hranil), boljšo odpornost v stresnih razmerah ter so do neke mere odporne proti rastlinskim patogenom (Reynolds in sod., 2003). V tleh, ki so onesnažene s težkimi kovinami, predstavljajo enega od mehanizmov rastline pri preprečevanju negativnih vplivov težkih kovin. Težke kovine vključujejo v glivno biomaso (Regvar in Vogel-Mikuš, 2008) in obenem preko hif zagotavljajo zadosten privzem ostalih esencialnih hranil, kot sta fosfor in dušik.

Pri vrstah, ki so fakultativno mikorizne, AM glive lahko delujejo kot endofiti ter lahko v taki obliki preživijo tudi do 10 let po propadu arbuskulov (Brundrett, 2006) in predstavljajo zaščito pred patogeni.

AM glive tvorijo v korteksu korenin arbuskule (slika 2), ki so kratkotrajne strukture in propadejo po nekaj dneh. Nastanejo z dihotomnim razraščanjem in z vzporedno redukcijo debeline hif. Predstavljajo glavno mesto izmenjave snovi (Smith in Read, 1997) med obema partnerjema v sožitju glive in rastline. Vezikli so založne strukture in nastanejo z zadebelitvijo hif. Vsebujejo veliko lipidov in citoplazme. Njihov razvoj se začne kmalu po razvoju arbuskulov.



Slika 2: Arbuskul v korteksu korenine visokega trpotca (*Plantago altissima*)

2.4.2 Temno septirani endofiti

Temno septirani endofiti so zelo raznolika skupina askomicetnih gliv. V koreninah rastline tvorijo temno-rjave predeljene hife in mikrosklerocije (Jumpponen, 2001). Prisotni so v različnih okoljih, od polarnih in subpolarnih (Newsham in sod., 2009) do tropskih (Jumpponen in Trappe, 1998) in kolonizirajo tako zeli kot lesne rastline.

Mnogi avtorji poročajo o ko-kolonizaciji rastlin tako z DSE in AM glivami (Usuki in Narisawa, 2007; Mandyam in Jumpponen, 2005; Chaudhry in sod., 2009; Šraj-Kržič in sod., 2006).

Z gostiteljsko rastlino lahko tvorijo pozitivne ali negativne povezave. Tako Mandyam in Jumpponen (2008) poročata celo o hiperparazitizmu, vendar na podlagi ostalih raziskovalcev (Newsham, 2011; Jumpponen in Trappe, 1998), lahko rečemo da nimajo negativnih vplivov na rastlino. Po raziskavah Addy-a in sodelavcev (2005), ni ekperimentalnih dokazov, ki bi potrjevali neposreden prenos hranil med glivo in gostiteljsko rastlino. Prav tako se ne strinja z mutualističnim odnosom med glivo in rastlino ter boljšo rast gostiteljske rastline pripiše različnim encimom, ki jih te glive izločajo v rizosfero. Tudi Jumpponen (2001) ugotavlja, da interakcija ni tipični primer mikoriznega sožitja, vendar ne izključuje možnosti, da temno septirani endofiti pod določenimi pogoji ali v nadzorovanih laborato-

rijskih razmerah lahko vplivajo na povečan privzem hranil in povzročijo boljšo rast gostiteljske rastline.

3 MATERIAL IN METODE DELA

3.1 TERENSKO DELO

Terensko delo je potekalo v rastni sezoni 2009/2010 na Cerknškem jezeru, in sicer na vzorčnih mestih Dolenje jezero in Zadnji Kraj. Vzorčenje smo opravili v opoldanskem času ter sončnem vremenu in pri cvetočih rastlinah. Na obeh vzorčnih mestih je jakost sevanja (PPFD), izmerjena s kvantometrom (Datalogger LI 1000), preseгла vrednost 1500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Na vsakem vzorčnem mestu smo naključno izbrali 10-12 rastlin in pri tem poskušali zajeti čim večje območje preučevane lokacije, kjer so bile enake rastne razmere.

3.1.1 Mesto raziskav

3.1.1.1 Cerknško jezero

Kraško polje je občasno poplavljen kraj kotanja z ravnim dnom, ponikalnico in strmim obodom (Gospodarič in Habič, 1978). Cerknško polje kot največje kraško polje na področju Notranjske, meri 35km² ter je zaprta depresija z ravnim dnom in Javorniki na zahodni strani ter Slivnico na vzhodnem delu polja (Turk, 2010). Na območju Cerknškega polja so ob idrijski prelomnici nagubane in narinjene kamnine, premaknjene v smeri SZ-JV. Pretežni del Cerknškega polja obdajajo zakraseli apnenci na zahodu, na dnu in na vzhodnem obrobju pa prevladujejo dolomiti, ki so manj prepustni (Gospodarič in Habič, 1978). Območje zaradi kontinentalne klime z relativno velikim deležem padavin (1600-1800) na leto, velja za bolj namočen del Slovenije (Zupančič, 2003).

Cerknško jezero (obseg med 20 do 24 km²), ki nima površinskih odtokov, nastane, ko sistem ponorov in požiralnikov ni več zmožen sprejeti velikih količin vode. Največji vodotok Cerknškega jezera je Stržen.

Pomembna lastnost Cerknškega jezera je presihanje. Jezero je suho običajno v juliju in avgustu in pozno pozimi, napolni pa se ob jesenskem deževju ter spomladi (Gaberščik in sod., 2003). Nadmorska višina gladine jezera niha med 546 in 552 m. Jezero se po izdatnih padavinah napolni v 3 dneh, v sušnem obdobju pa usiha več tednov. Ob najvišjem vodostaju voda poplavi do 30 km² polja (Turk, 2010).

Rastlinstvo Cerknškega jezera je povezano z obdobji poplavljanja in presihanja. Voda najdlje ostane prisotna v strugi Stržena. Ob višjem vodostaju se na plitvejših predelih pojavljata visokorasli amfibijski vrsti kot npr. močvirski grint (*Senecio paludosus*) in širokolistna koščica (*Sium latifolium*). Poseben vodni režim prispeva ugodne razmere za razvoj različnih ekoloških skupin rastlin (Martinčič, 2003). Menjava sušnih in mokrih obdobj predstavlja pomemben dejavnik za delovanje jezera kot ekosistema. Je tudi zaščita pred vdorom tujerodnih rastlin (Gaberščik in Urbanc-Berčič, 2003).

Zadnji Kraj

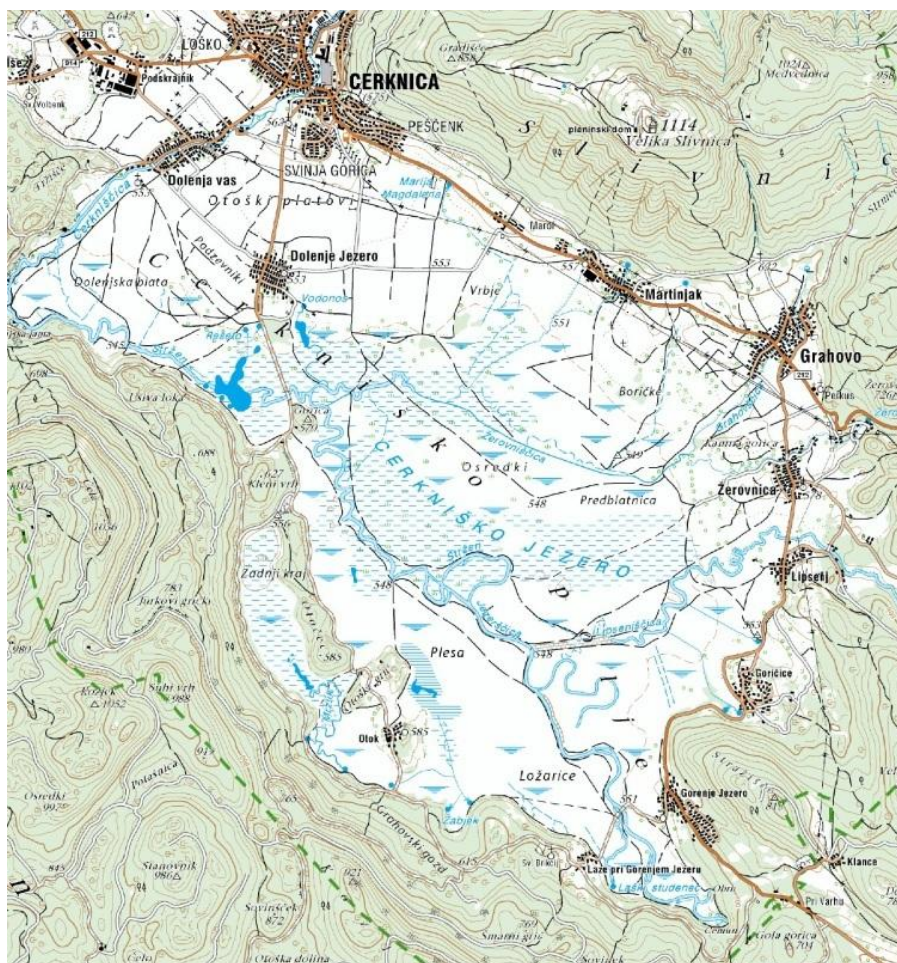
Merilno mesto leži na zahodnem delu Cerknškega jezera. Zadnji kraj je do 500 m širok zaliv, kjer se voda zadrži najdlje. Skalno dno prekrivata karbonatna ilovica in jezersko blato (Gospodarič in Habič, 1978). Tla so muljasta in peščena, vsebujejo malo organske snovi ter so revna s hranili (Dolinar in sod., 2011). Za območje so značilni sestoji navadnega trsta (*Phragmites australis*).

Avgusta 2010 na vzorčnem mestu voda ni bila prisotna, tla pa so bila vlažna.

Dolenje jezero

Na območju Rešeta so zaradi izmenjave manj topnega dolomita in bolj topnega apnenca prisotne številne estavele in požiralniki (Gaberščik in sod., 2003). Bregovi so gosto poraščeni z rastlinami, dno je muljasto. Kadar vodostaj pade pod 100 cm večina rastlin na bregovih ostane na kopnem. Obrobje poplavnega območja naseljujejo združbe mokrotnih travnikov (združba modro-stožkovje in združba rušnate masnice in visokega trpotca).

V rastni sezoni 2009 (julij) je bilo območje osušeno, tla pa so bila vlažna. Vzorčene rastline so bile zakoreninjene izven vode. V maju 2010 pa je bila gladina vode višja, vendar so bile preučevane rastline (*Leucojum aestivum*) na kopnem in tla z vodo niso bila nasičena.



Slika 3: Topografski zemljevid Cerknškega jezera (<http://www.geopedia.si>, april 2012)

3.1.2 Predmet raziskav

3.1.2.1 Močvirski grint (*Senecio paludosus* L.)

Močvirski grint je ranljiva vrsta iz družine nebinovk (Asteraceae), ki se pojavlja v amfibijskih združbah na Cerknškem jezeru. Cveti med junijem in avgustom ter doseže višino do dveh metrov. Ima številne rumene koške, črtalasto suličaste in ostro nazobčane liste. Raste na občasno poplavljenih travnikih, na nasipih in robovih jarkov predvsem na dinarskem območju (Martinčič in sod., 1999).



Slika 4: Sestoj močvirskega grinta (*Senecio paludosus*) na Cerknškem jezeru. (foto: A. Gaberščik)

3.1.2.2 Visoki trpotec (*Plantago altissima* L.)

Visoki trpotec je zelnata trajnica in spada v družino trpotčevk (Plantaginaceae). Rastline z vodoravno koreniko ter pokončno suličastimi štrlečimi listi in pritlično rozeto dosežejo višino od 50 do 70 cm. Naseljuje poplavne in vlažne travnike južne in jugozahodne Slovenije, drugje vrsta ni pogosta. Cveti med majem in julijem (Martinčič in sod., 1999).



Slika 5: Visoki trpotec (*Plantago altissima*). Foto: A. Gaberščik

3.1.2.3 Veliki poletni zvonček (*Leucojum aestivum* L.)

Veliki poletni zvonček je zavarovana zelnata trajnica s čbulico iz družine narcisovk (Amaryllidaceae) z neolistanim stblom, na katerem se razvije med tri in sedem kimastih cvetov. Raste v manjših šopih ter doseže velikost do 60 cm. Pritlični listi so do pol metra dolgi. Njegova razširjenost ni pogosta, v severnem delu Slovenije vrsta ni prisotna. Cveti med majem in junijem. Njegovo rastišče so močvirni travniki in poplavni gozdovi (Martinčič in sod., 1999; Stergaršek, 2009).



Slika 6: Veliki poletni zvonček (*Leucojum aestivum*) na Dolenjem jezeru. Foto: A. Gaberščik

3.1.2.4 Togi šaš (*Carex elata* All.)

Togi šaš je zelnata trajnica s šopastim koreninskim sistemom iz družine ostričevk (Cyperaceae). Rastlina nima pritlik ter se pojavlja v velikih šopih in doseže višino do 180 cm. Nožnice pritličnih listov so rumenorjave. Cveti med aprilom in majem. Njegovo rastišče so močvirja, vodni jarki in bregovi voda (Martinčič in sod., 1999).

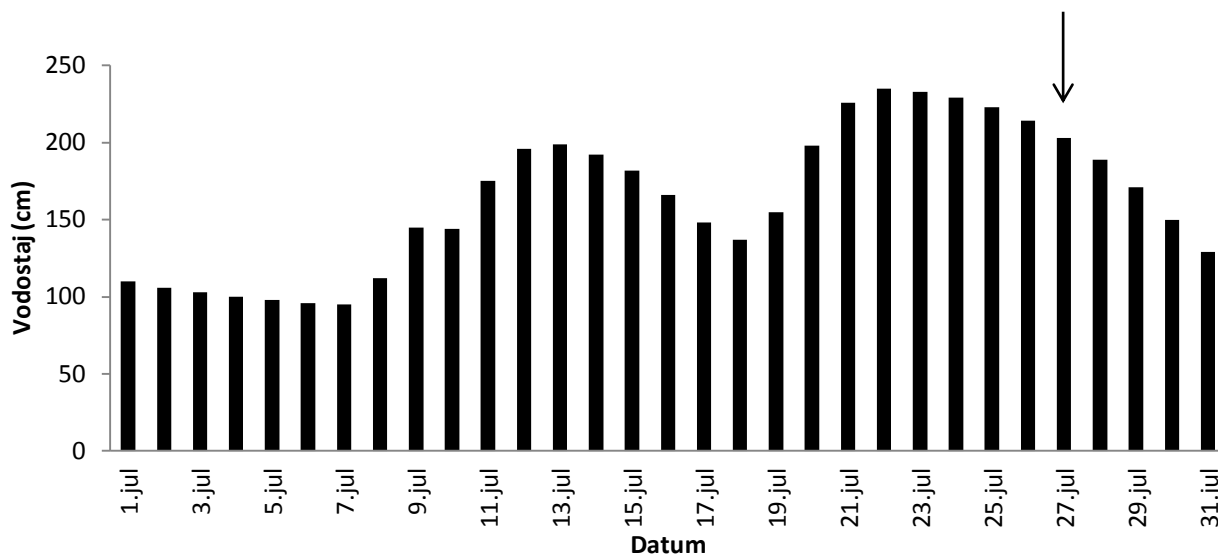


Slika 7: Togi šaš (*Carex elata*) v Zadnjem Kraju. Foto: A. Gaberščik

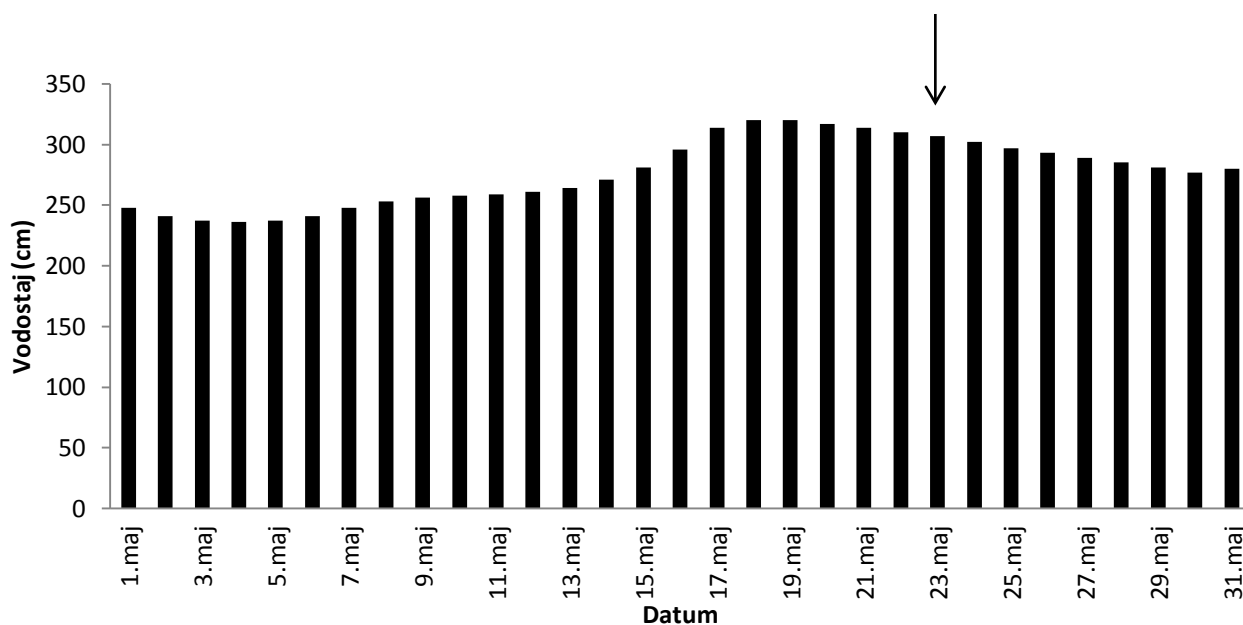
Preglednica 1: Rastna oblika, oblika koreninskega sistema in glivni status preučevanih taksonov

| Takson | Družina | Rastna oblika (oblika koreninskega sistema) | Glivni status: literatura |
|---------------------------|----------------|---|--|
| <i>Plantago altissima</i> | Plantaginaceae | Hemikriptofit (rozetasti), korenika | AM ¹ |
| <i>Senecio</i> sp. | Asteraceae | Hemikriptofit | AM ¹ |
| <i>Leucojum aestivum</i> | Amaryllidaceae | geofit | AM ¹ |
| <i>Carex</i> sp. | Cyperaceae | Hemikriptofit (šopasti) | Fakultativno AM ^{1,2} DSE ³ |

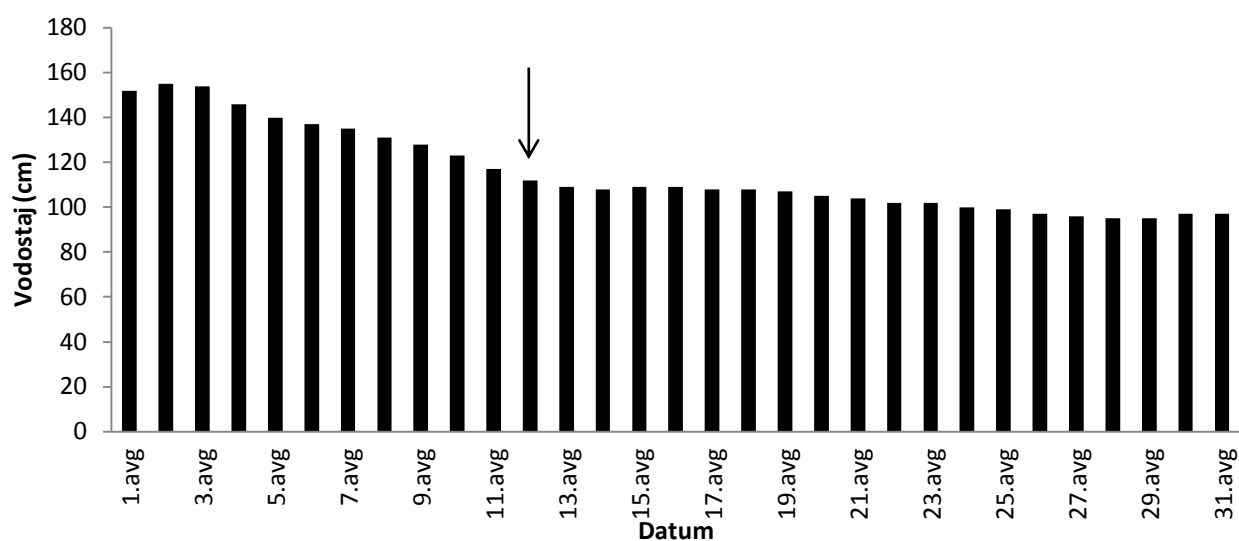
1: Harley, J. L. in Harley E. L., (1987) 2: Wang in Qiu., (2006) 3: Miller in sod., (1999)



Slika 8: Vodostaj jezera v mesecu juliju 2009 na merilnem mestu Dolenje jezero. Vzorčni rastlini sta močvirski grint in visoki trpotec. Puščica označuje datum meritve. (vir: ARSO)



Slika 9: Vodostaj jezera v mesecu maju 2010 na merilnem mestu Dolenje jezero. Vzorčna rastlina je veliki poletni zvonček. Puščica označuje datum meritve. (vir: ARSO)



Slika 10: Vodostaj jezera v mesecu avgustu 2010 na merilnem mestu Dolenje jezero. Vzorčna rastlina je togi šaš. Puščica označuje datum meritve (12. 8.). (vir: ARSO)

3.1.3 Fiziološki parametri

Transpiracijo smo izmerili s pomočjo porometra (Model CS-1, Decagon, USA). Obenem smo odčitali še temperaturo zraka ter lista in zračno vlažnost.

Potencialno in dejansko fotokemično učinkovitost smo izmerili s fluorometrom (OS- 500, Opti-Sciences, ZDA) ter rezultate podali v relativnih enotah.

Potencialno fotokemično učinkovitost (F_v/F_m) smo merili na zatemnjenih listih, na katere smo predhodno za 20 minut namestili posebne ščipalke ter jih po pretečenem času osvetlili s saturacijskim pulzom bele svetlobe ($PPFD\ 8000\ \mu\text{mol}\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$, $t=0,8\ \text{s}$). Dejansko fotokemično učinkovitost (Y) smo odčitali pri trenutnih svetlobnih razmerah. Liste smo prav tako osvetlili s saturacijskim pulzom bele svetlobe ($PPFD\ 8000\ \mu\text{mol}\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$, $t=0,8\ \text{s}$).

3.2 LABORATORIJSKO DELO

Rastline smo skupaj z rizosfernimi tlemi prenesli v laboratorij, kjer smo izmerili rastne parametre (višina rastline, bazalni premer stebela) in še isti dan pripravili vzorce za kasnejše preučevanje glivne kolonizacije.

3.2.1 Ocena glivne kolonizacije

Glivno kolonizacijo smo določili po predhodnem barvanju korenin s tripan modrim po metodi Phillips in Hayman (1970). Tripan modro obarva hitin, ki je sestavni del stene simbiotske glive, tako da lahko ločimo obarvane glivne strukture od neobarvanih rastlinskih celic. Korenine rastline smo dobro oprali pod tekočo vodo ter nato še v destilirani vodi. Tanke stranske koreninice smo narezali na 1 cm dele ter jih dali v 16 cm široke epruvete. Fragmente koreninic smo prelili z 10% KOH in epruvete zatesnili s tilom in elastiko. Vzorce smo segrevali do 45 minut (odvisno od rastlinske vrste) pri 90 °C. Po pretečenem času smo kalijev hidroksid odlili ter dodali barvilo 0,05% tripan modro in korenine barvali 30 minut v sušilniku pri 90 °C. Tripan modro smo odlili in fragmente sprali pod tekočo vodo. V hladilniku smo vzorce v destilirani vodi shranili do priprave poltrajnih mikroskopskih preparatov, ki smo jih kasneje pregledali pod svetlobnim mikroskopom (Olympus CX41).

Stopnjo glivne kolonizacije ter pogostnost glivnih struktur smo odčitali s pomočjo šeststopenjske lestvice Trouvelot in sodelavci (1986). (PRILOGA A)

Z računalniškim programom MycoCalc (<http://www2.dijon.inra.fr/mychintec/MycoCalc-prg/download.html>) smo iz pridobljenih podatkov izračunali glivne parametre, in sicer frekvenco glivne kolonizacije (F %), splošno intenziteto glivne kolonizacije (M %) ter gostoto glivnih struktur (arbuskulov, svitkov, veziklov, mikrosklerocijev) v koreninskem sistemu kot tudi v koloniziranem delu korenine.

3.2.2 Statistična analiza

Za statistično obdelavo podatkov smo uporabili program R for Windows 2.11.1. Nekatere grafe smo izrisali v MS Excelu. Glivne strukture smo grafično prikazali v obliki boxplotov oz. škatel z ročaji, kjer so vrednosti predstavljene kot 1. kvartil, mediana ter 3. kvar-

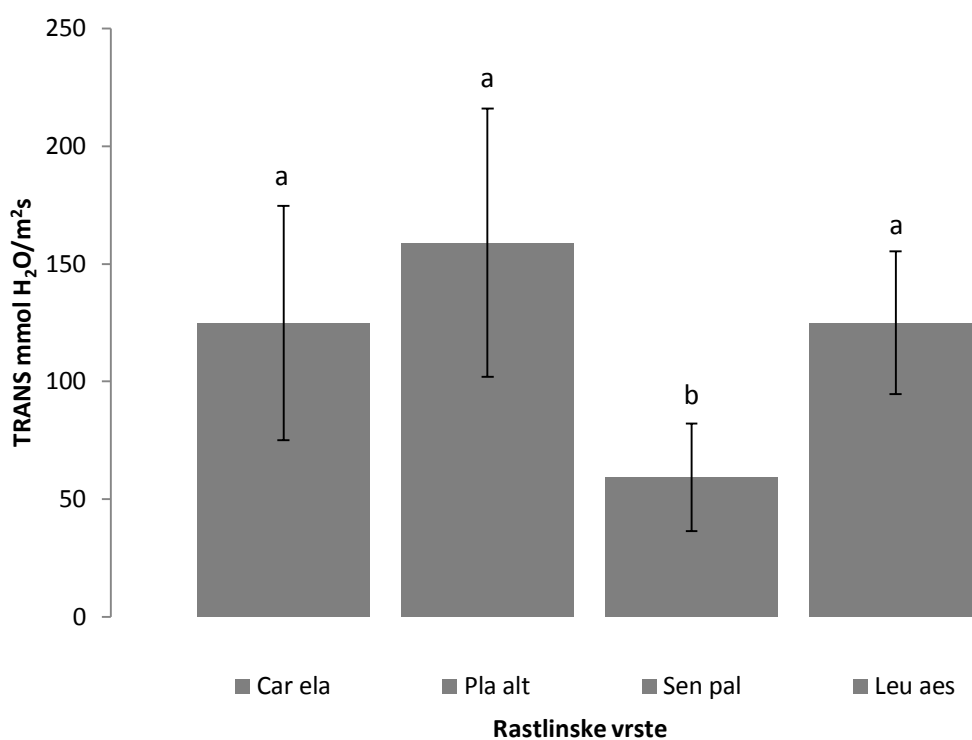
til. Povezanost med glivno kolonizacijo in rastnimi ter fiziološkimi parametri smo izračunali s pomočjo Spermanovega korelacijskega koeficienta.

4 REZULTATI

4.1 FIZIOLOŠKI PARAMETRI

4.1.1 Transpiracija

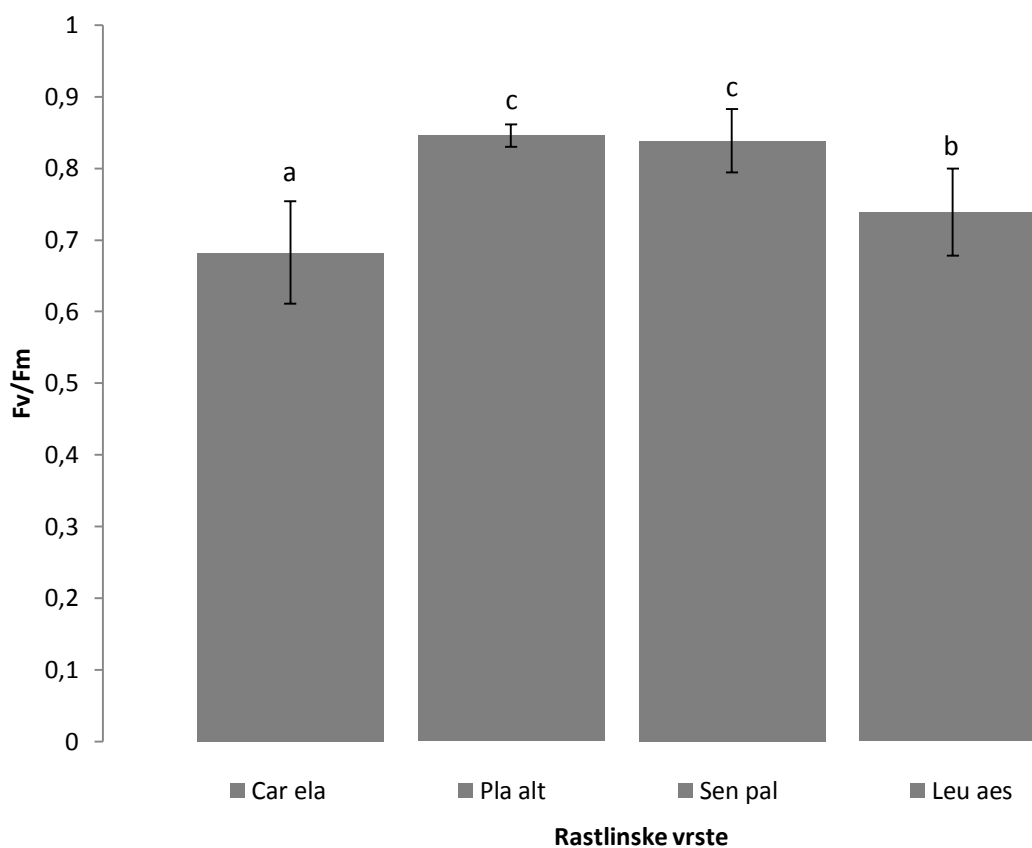
Najvišje vrednosti transpiracije smo zabeležili pri visokem trpotcu (povprečna vrednost; 158 mmol H₂O/m²s). Najnižje vrednosti je imel močvirski grint, in sicer med 30 in 94 mmol H₂O/m²s. Povprečni vrednosti transpiracije togega šaša in velikega poletnega zvončka se nista bistveno razlikovali (~ 124 mmol H₂O/m²s) (slika 11).



Slika 11: Primerjava transpiracije pri preučevanih rastlinah v rasti sezoni 2009/2010. Podatki so predstavljeni kot aritmetična sredina ± SD. Črke nad stolpci predstavljajo statistično značilne razlike med vrstami ($p < 0,05$). $n = 10$ (Pla alt = *Plantago altissima*, Sen pal = *Senecio paludosus*) in $n = 12$ (Car ela = *Carex elata*, Leu aes = *Leucosium aestivum*).

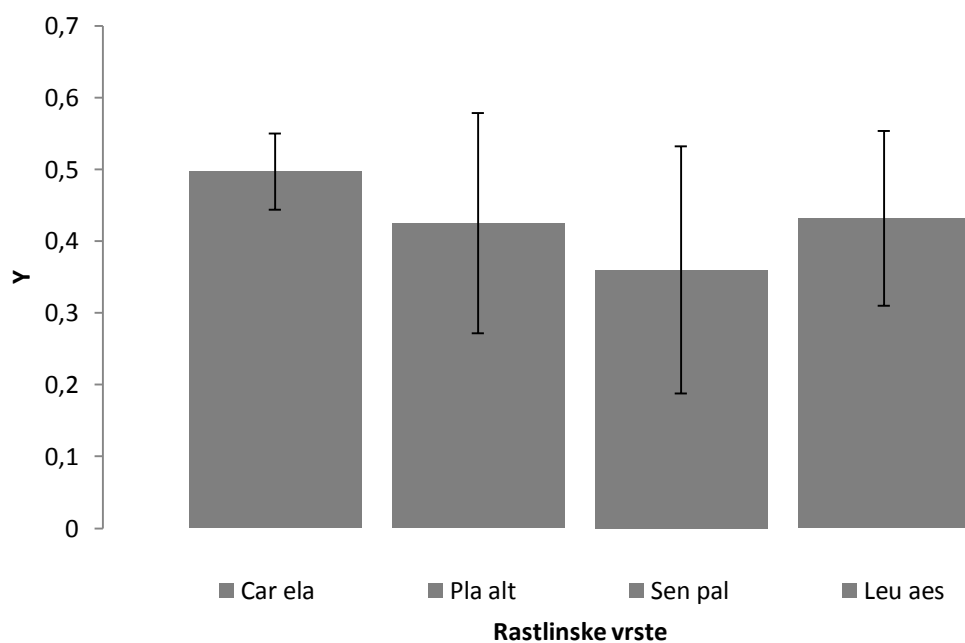
4.1.2 Fotokemična učinkovitost

Vrednosti potencialne fotokemične učinkovitosti (Fv/Fm) visokega trpotca in močvirskega grinta sta bili zelo podobni in sta se najbolj približali teoretični maksimalni vrednosti 0,84. Najnižja je bila potencialna fotokemična učinkovitost pri togem šašu (slika 12).



Slika 12: Potencialna fotokemična učinkovitost(Fv/Fm) pri preučevanih rastlinah v rastni sezoni 2009/2010. Podatki so predstavljeni kot aritmetična sredina \pm SD. Črke nad stolpci predstavljajo statistično značilne razlike med vrstami ($p < 0,05$). $n=10$ (Pla alt = *Plantago altissima*, Sen pal = *Senecio paludosus*) in $n=12$ (Car ela = *Carex elata*, Leu aes = *Leucjum aestivum*).

Vrednosti dejanske fotokemične učinkovitosti (Y) so bile pri vseh štirih rastlinah nižje kot rezultati meritev potencialne fotokemične učinkovitosti (F_v/F_m). Najnižje vrednosti smo zabeležili pri močvirskem grintu (slika 13). Opazni so trendi, ni pa bilo statistično značilnih razlik, ker so bili podatki zelo variabilni.

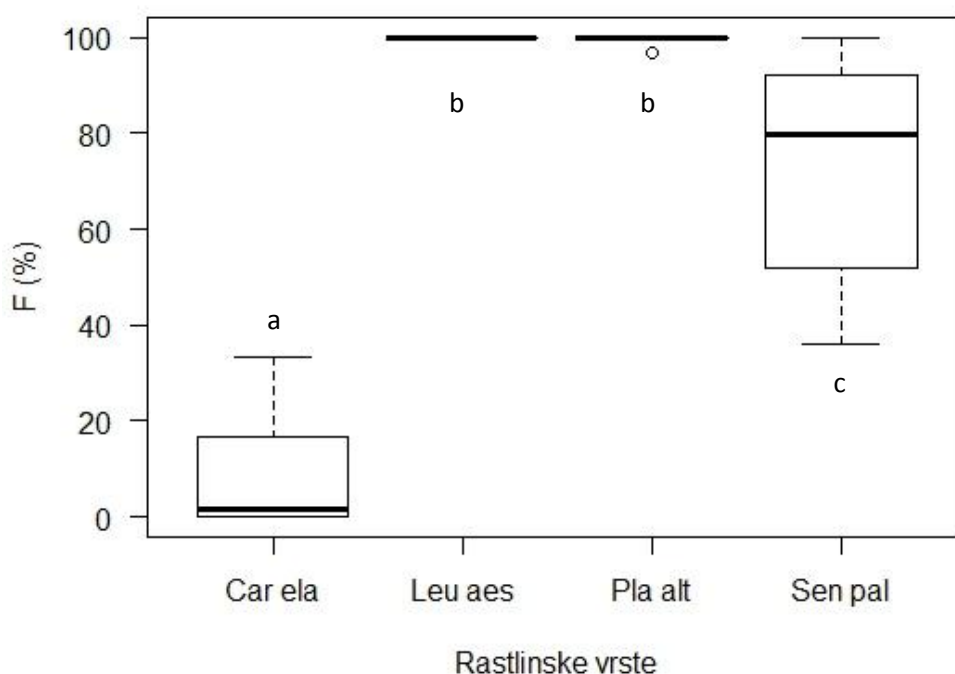


Slika 13: Dejanska fotokemična učinkovitost (Y) pri preučevanih rastlinah v rastni sezoni 2009/2010. Podatki so predstavljeni kot aritmetična sredina \pm SD. $n=10$ (Pla alt = *Plantago altissima*, Sen pal = *Senecio paludosus*) in $n=12$ (Car ela = *Carex elata*, Leu aes = *Leucjum aestivum*).

4.2 GLIVNA KOLONIZACIJA

4.2.1 Frekvenca glivne kolonizacije (F %) preučevanih rastlin

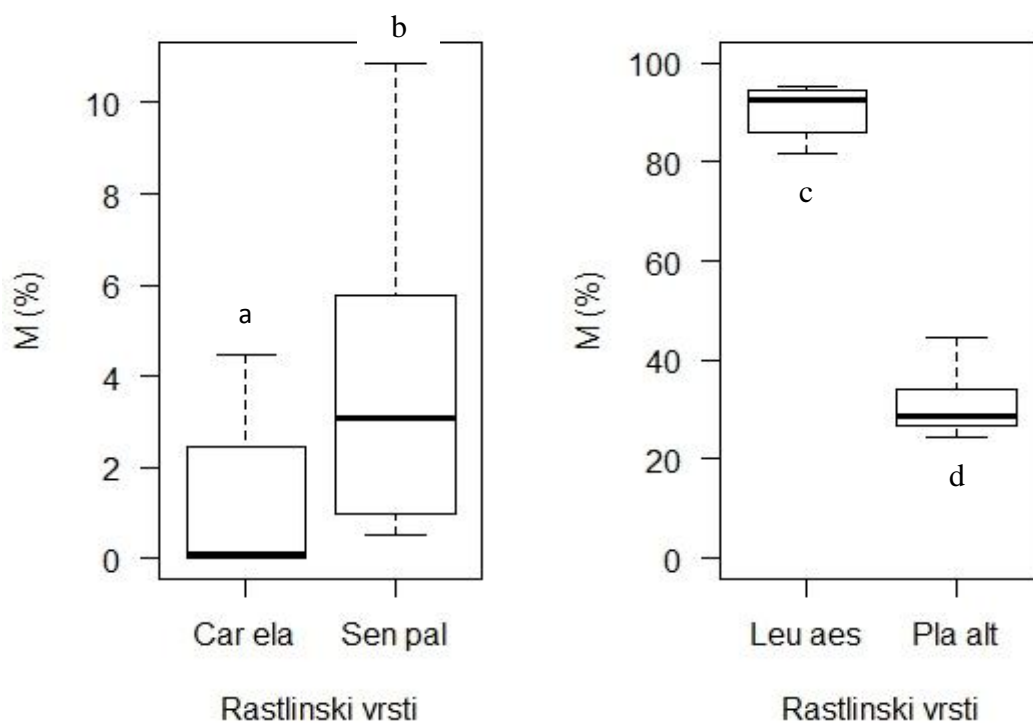
Frekvenca fragmentov z glivo (F%) je bila najnižja pri togem šašu, saj je bilo inficiranih le 50 % fragmentov. Njihova frekvenca ni presegla 30 %. Pri velikem poletnem zvončku so bile hife in druge glivne strukture prisotne pri vseh fragmentih, prav tako tudi pri visokem trpotcu. Glivna kolonizacija močvirskega grinta je bila med 60 in 80 % (slika 14).



Slika 14: Frekvenca glivne kolonizacije (F%) togega šaša (Car ela), visokega trpotca (Pla alt), močvirskega grinta (Sen pal) in velikega poletnega zvončka (Leu aes). Rezultati so podani kot box-plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Črke predstavljajo statistično značilne razlike med vrstami ($p < 0,05$).

4.2.2 Splošna intenziteta glivne kolonizacije (M %) preučevanih rastlin

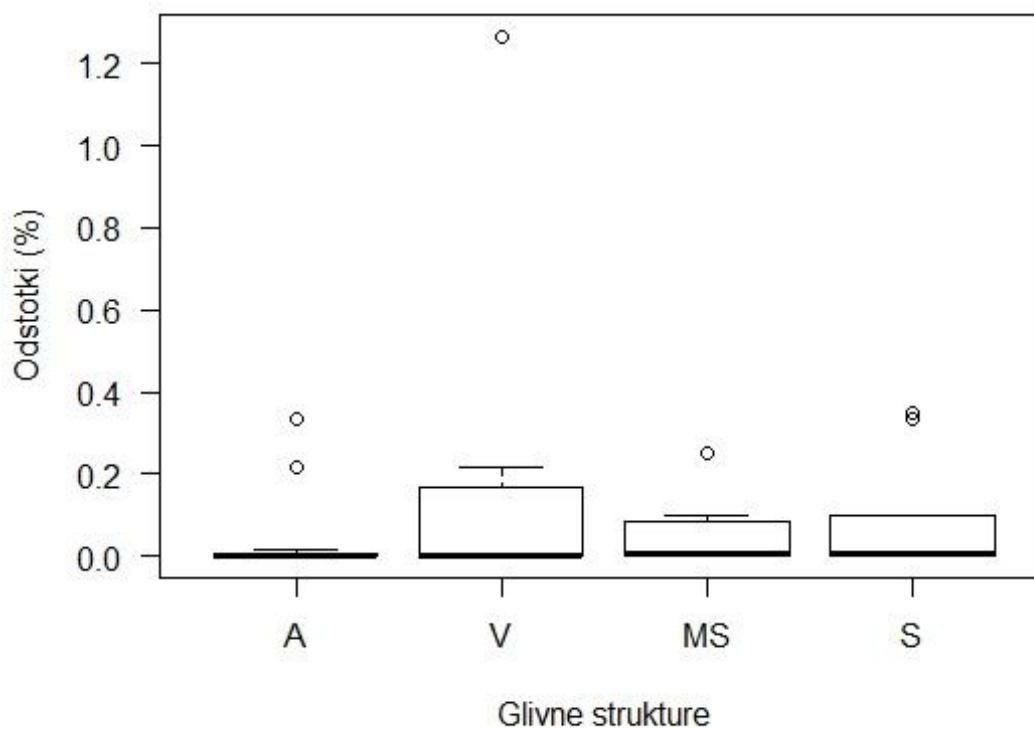
Intenziteta glivne kolonizacije koreninskega sistema je bila podobno kot frekvenca najvišja pri velikem poletnem zvončku (91 %) in visokem trpotcu (30 %). Pri togem šašu in močvirskem grintu ni presegla 10 %. Povprečna vrednost pri močvirskem grintu je bila 4 % , pri togem šašu pa 1,1 % (slika 15).



Slika 15: Splošna intenziteta glivne kolonizacije (M %) togega šaša (Car ela), visokega trpotca (Pla alt), močvirskega grinta (Sen pal) in velikega poletnega zvončka (Leu aes). Rezultati so podani kot box-plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Črke predstavljajo statistično značilne razlike med vrstami ($p < 0,05$).

4.2.3 Gostota glivnih struktur togega šaša (*Carex elata*)

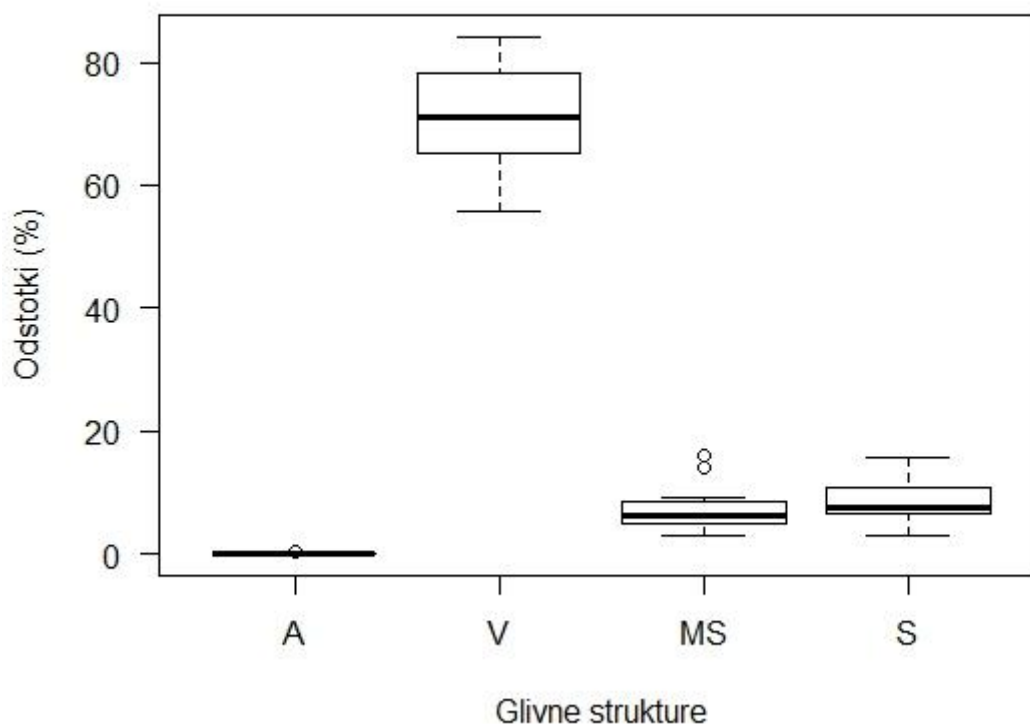
Gostota arbuskulov, veziklov, mikrosklerocijev ter svitkov je bila pri togem šašu zelo nizka in ni presegla 1 %. Še največ je bilo prisotnih veziklov (0,15 %) (slika 16).



Slika 16: Prisotnost arbuskulov (A), veziklov (V), mikrosklerocijev (MS) ter svitkov (S) v koreninskem sistemu togega šaša (*Carex elata*). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o).

4.2.4 Gostota glivnih struktur velikega poletnega zvončka (*Leucjum aestivum*)

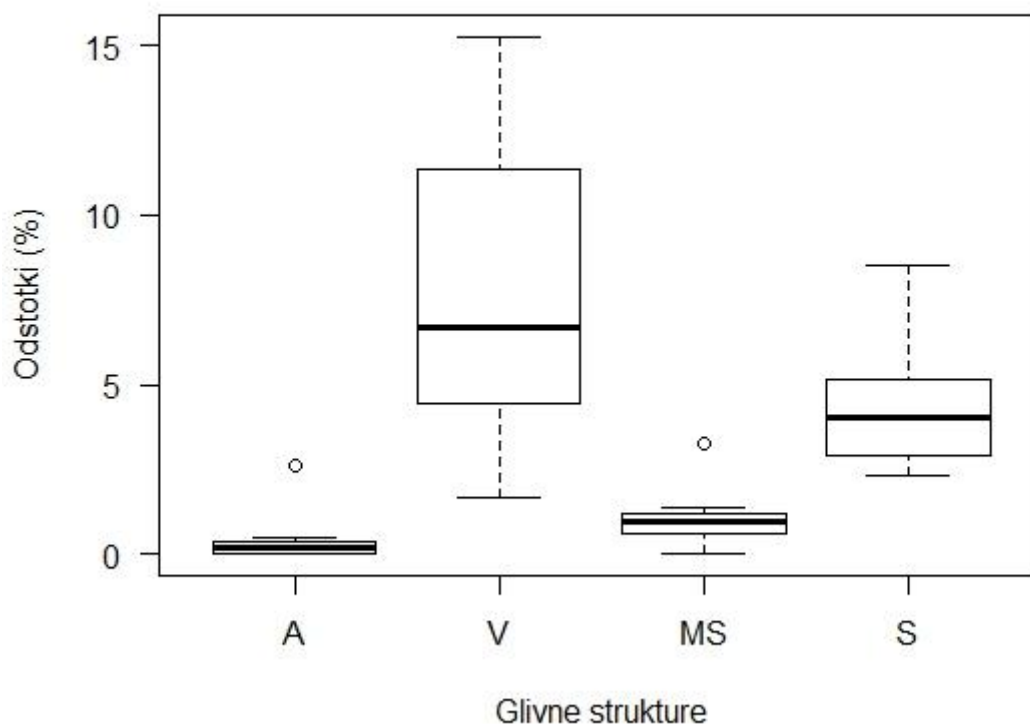
Pri velikem poletnem zvončku so bili najbolj pogosti vezikli (med 55 % in 84 %), gostota arbuskulov je bila zanemarljiva (pod 0,05 %). Pogostost svitkov in struktur temno septiranih endofitov, ni presegla 10 % (slika 17) .



Slika 17: Prisotnost arbuskulov (A), veziklov (V), mikrosklerocijev (MS) ter svitkov (S) v koreninskem sistemu velikega poletnega zvončka (*Leucjum aestivum*). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o).

4.2.5 Gostota glivnih struktur visokega trpotca (*Plantago altissima*)

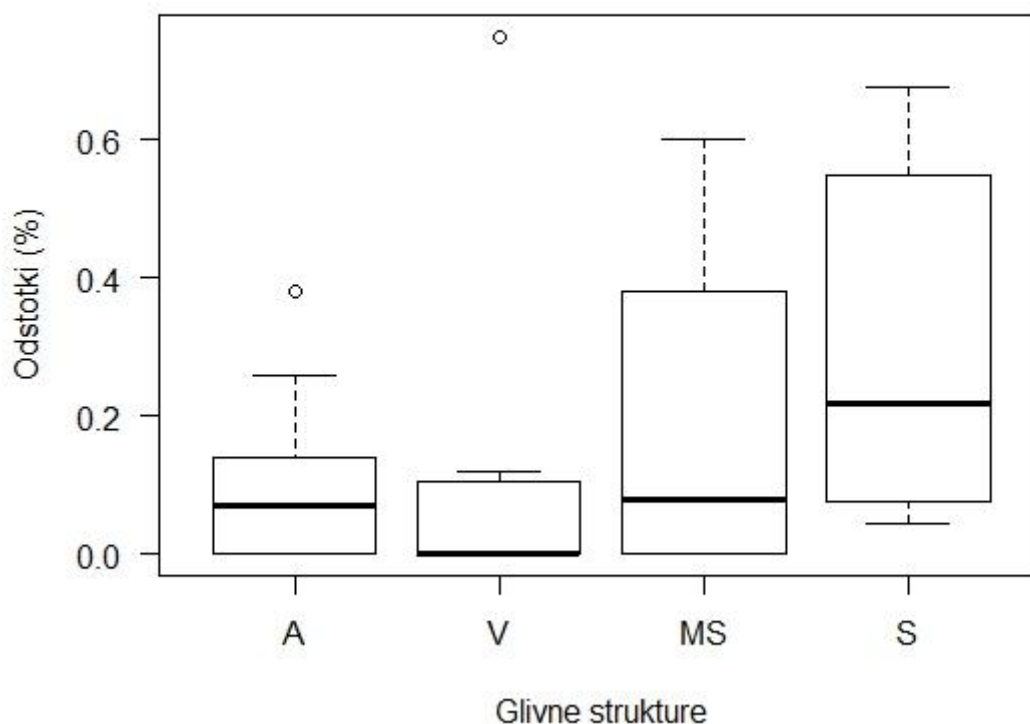
Gostota arbuskulov ni dosegla niti enega odstotka (0,4 %), saj so se arbuskuli pojavljali posamič. Štirje vzorci od 10 arbuskulov niso vsebovali. Pogostnost mikrosklerocijev ni presegla 1%. Najbolj pogosta glivna struktura so bili vezikli z 22 % (slika 18).



Slika 18: Prisotnost arbuskulov (A), veziklov (V), mikrosklerocijev (MS) ter svitkov (S) v koreninskem sistemu visokega trpotca (*Plantago altissima*). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o).

4.2.6 Gostota glivnih struktur močvirskega grinta (*Senecio paludosus*)

Pogostnost vseh glivnih struktur je bila zelo nizka in ni presegla 0.6 %. Pri močvirskem grintu so se arbuskuli pojavljali posamično, vezikli (0,1 %) so se pojavili samo v treh vzorcih. Najbolj pogosti so bili svitki (0,3 %) (slika 19).



Slika 19: Prisotnost arbuskulov (A), veziklov (V), mikrosklerocijev (MS) ter svitkov (S) v koreninskem sistemu močvirskega grinta (*Senecio paludosus*). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o).

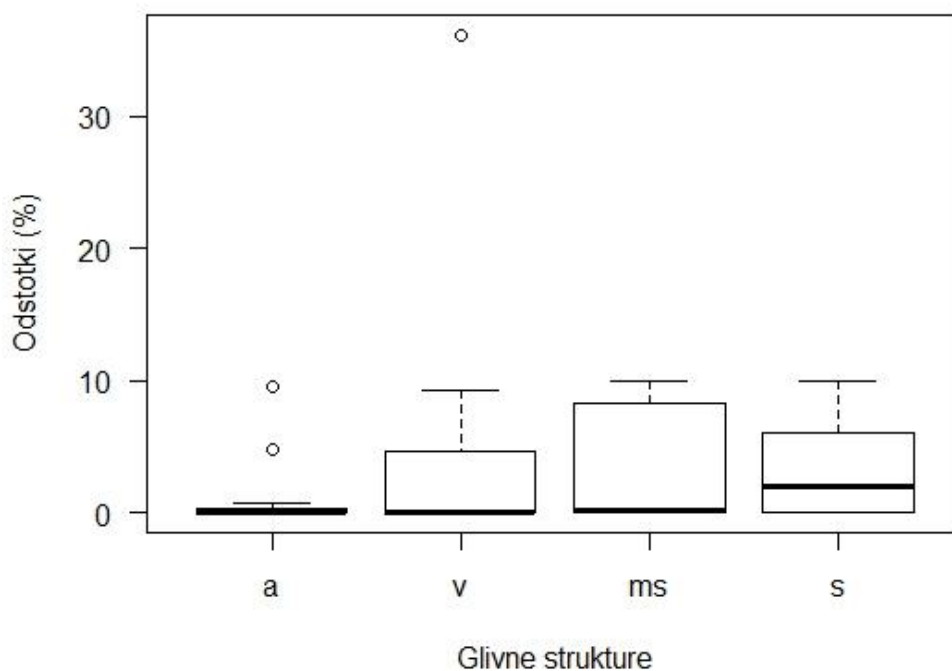
4.3 GLIVNE STRUKTURE V KOLONIZIRANIH DELIH KORENINSKEGA SISTEMA

Najpogostejše glivne strukture v koloniziranih delih koreninskega sistema pri togem šašu so bili mikrosklerociji, najredkeje pa so se v inficiranih delih pojavljali vezikli (slika 20).

Veliki poletni zvonček je imel v koloniziranih delih s 75 % največ veziklov ter 7 % mikrosklerocijev in najmanj arbuskulov (0,02 %).

Pri visokem trpotcu smo največkrat opazili vezikle (22 %), sledijo jim svitki s 13 % in mikrosklerociji (3 %). Prisotnost arbuskulov je bila redka.

Tudi pri močvirskem grintu smo mikrosklerocije (3 %) in vezikle (2 %) opazili občasno, največ pa je bilo svitkov (8%).



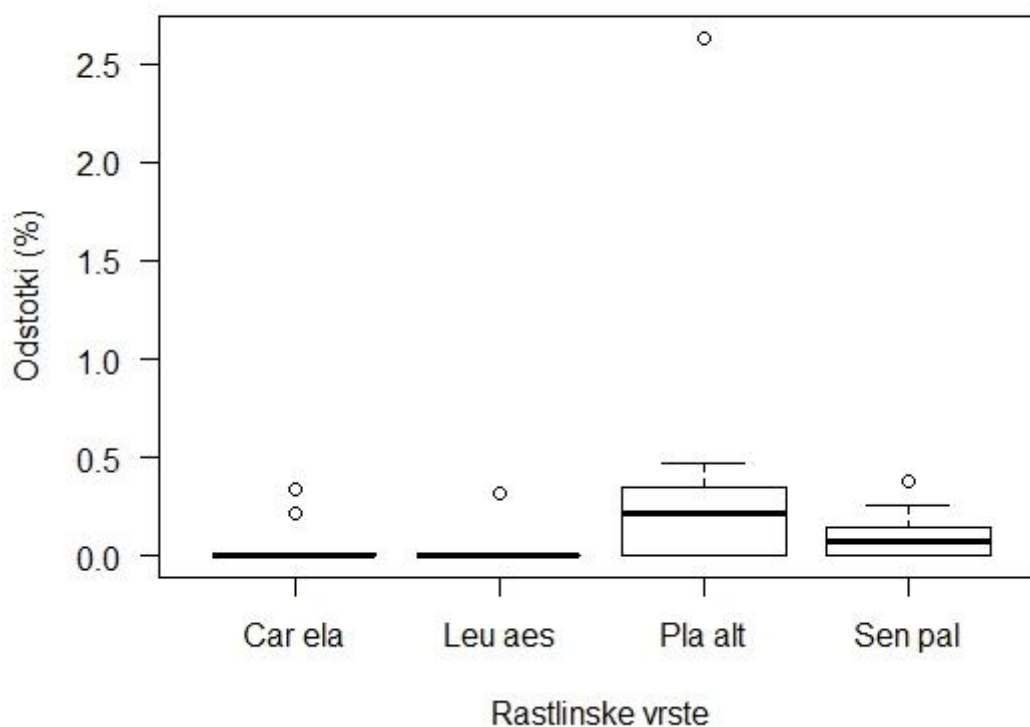
Slika 20: Prisotnost arbuskulov (a), veziklov (v), mikrosklerocijev (ms) ter svitkov (s) v koloniziranem delu koreninskega sistema togega šaša (*Carex elata*). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o).

Podatki o gostoti glivnih struktur v koloniziranih delih koreninskega sistema velikega poletnega zvončka, močvirskega grinta in visokega trpotca so v prilogah (PRILOGA B)

4.4 GOSTOTA GLIVNIH STRUKTUR V KORENINAH PREUČEVANIH RASTLIN

4.4.1 Gostota arbuskulov pri obravnavanih rastlinskih vrstah

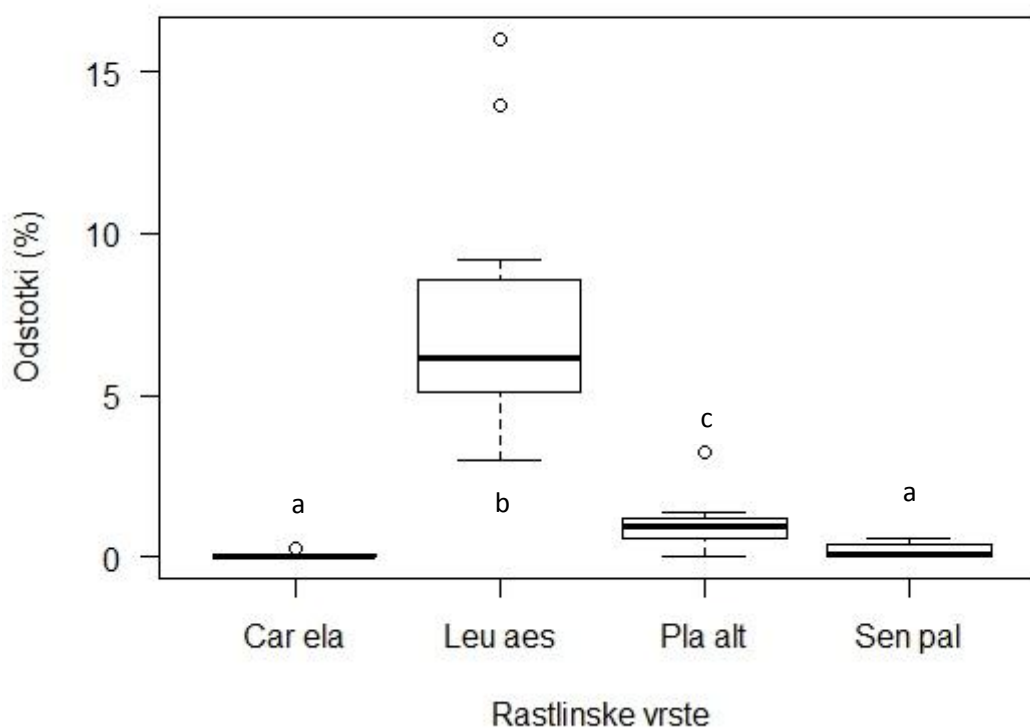
Gostota arbuskulov je bila pri vseh rastlinskih vrstah pod 0,4 %. Večja prisotnost je bila pri visokem trpotcu (6 vzorcev) in močvirskem grintu (6 vzorcev) s 0,4 % oz. 0,1 %, sporadično so se pojavili tudi pri velikem poletnem zvončku (1 vzorec) in v celo pri togem šašu (3 vzorci).



Slika 21: Pogostnost arbuskulov v koreninskem sistemu togega šaša (Car ela), velikega poletnega zvončka (Leu aes), visokega trpotca (Pla alt) ter močvirskega grinta (Sen pal). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o).

4.4.2 Gostota mikrosklerocijev pri obravnavanih rastlinskih vrstah

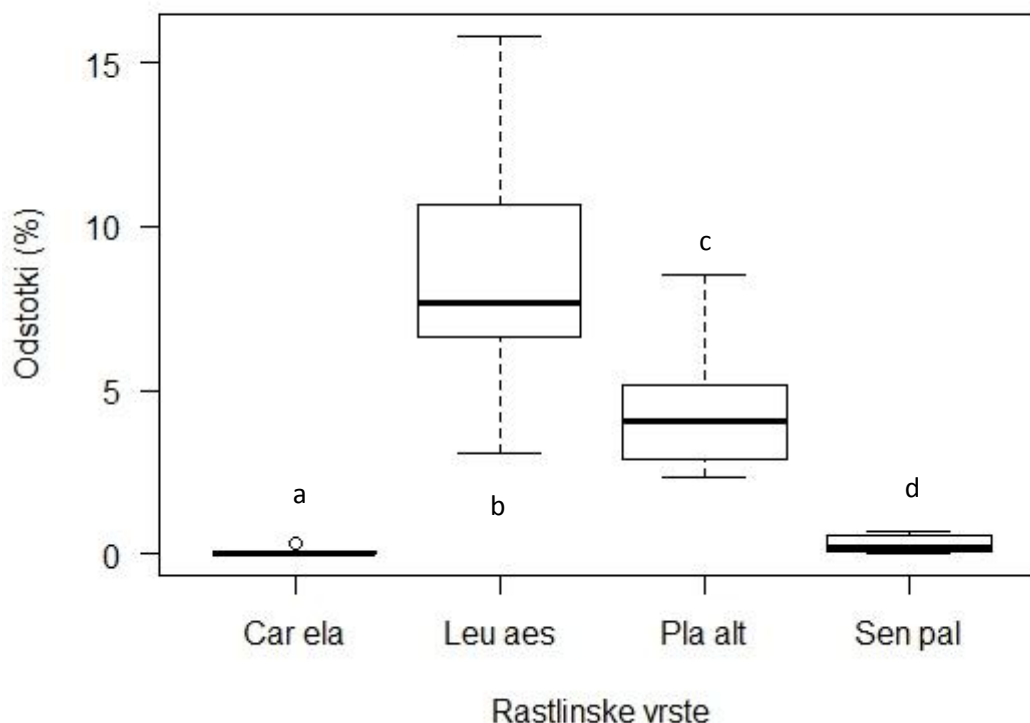
Pogostost mikrosklerocijev je bila najvišja pri velikem poletnem zvončku (6,4 %), sledi mu visoki trpotec z 1,02 %. Gostota struktur temno septiranih endofitov je bila 0,16 % pri močvirskem grintu in najnižja pri togem šašu (0,05 %) (slika 22).



Slika 22: Pogostnost struktur temno septiranih endofitov v koreninskem sistemu togega šaša (Car ela), velikega poletnega zvončka (Leu aes), visokega trpotca (Pla alt) ter močvirskega grinta (San pal). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Črke predstavljajo statistično značilne razlike med vrstami ($p < 0,05$).

4.4.3 Gostota svitkov pri obravnavanih rastlinskih vrstah

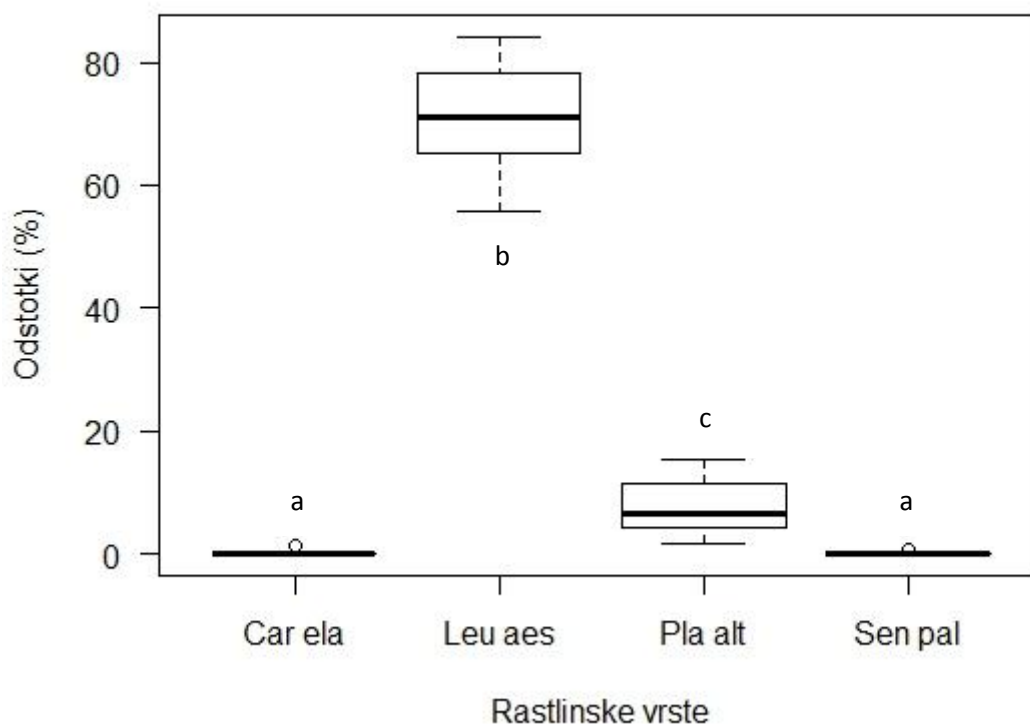
Največji delež svitkov smo opazili pri velikem poletnem zvončku (med 6 % in 11 %), kjer so se deleži med koreninskimi fragmenti tudi najbolj spreminjali. Po pogostnosti mu sledi visoki trpotec (4 %). Najnižje vrednosti sta imela močvirski grint (0,03 %), kjer so se svitki pojavljali posamično in togi šaš, kjer so bili svitki med vsemi glivnimi strukturami, najmanj pogosti (0,08 %) (slika 23).



Slika 23: Pogostnost svitkov v koreninskem sistemu togega šaša (Car ela), velikega poletnega zvončka (Leu aes), visokega trpotca (Pla alt) ter močvirskega grinta (Sen pal). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Črke predstavljajo statistično značilne razlike med vrstami ($p < 0,05$).

4.4.4 Gostota veziklov pri obravnavanih rastlinskih vrstah

Gostota veziklov je bila največja pri velikem poletnem zvončku (71 %). Nižjo gostoto založnih struktur smo s 7 % zabeležili pri visokem trpotcu. Vezikli so bili redki pri močvirskem grintu (0,1 %) in pri togem šašu (0,15 %) (slika 24).



Slika 24: Pogostnost veziklov v koreninskem sistemu togega šaša (Car ela), velikega poletnega zvončka (Leu aes), visokega trpotca (Pla alt) ter močvirskega grinta (Sen pal). Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Črke nad stolpci predstavljajo statistično značilne razlike med vrstami ($p < 0,05$).

4.5 POVEZANOST GLIVNE KOLONIZACIJE TER RASTNIH IN FIZIOLOŠKIH PARAMETROV

4.5.1 Fiziološki parametri

Med fiziološkimi parametri velikega poletnega zvončka in glivnimi strukturami nismo opazili značilnih povezav. Tudi pri visokem trpotcu in togem šašu ni bilo značilnih povezav med glivnimi parametri ter transpiracijo in potencialno in dejansko fotokemično učinkovitostjo (PRILOGA C).

Pri močvirske grintu intenziteta glivne kolonizacije (M %) in ostali glivni parametri niso bili v značilni povezavi s transpiracijo. Značilnih pozitivnih povezav ni bilo niti med potencialno fotokemično učinkovitostjo in glivnimi parametri. V pozitivni povezavi sta bili gostota veziklov v koreninskem sistemu (V %) in koloniziranih delih korenin (v %) ter dejanska fotokemična učinkovitost (Y). (PRILOGA C)

4.5.2 Rastni parametri

V pozitivni povezavi pri velikem poletnem zvončku so bili število listov ter gostota mikrosklerocijev v koreninskem sistemu (MS %) ($r=0,73$, $p<0,5$) in število listov ter gostota mikrosklerocijev v koloniziranih delih koreninskega sistema (ms %). Oba parametra sta bila v pozitivni povezavi tudi s suho maso (PRILOGA D).

Suha masa visokega trpotca je bila v negativni korelaciji z gostoto arbuskulov tako v koreninskem sistemu (A %) kot tudi v koloniziranih delih korenine (a %). Drugih značilnih povezav med glivnimi parametri in ravnimi parametri ni bilo (PRILOGA D).

Pri togem šašu smo opazili pozitivno korelacijo med frekvenco glivne kolonizacije (F %) in višino in dolžino listov. Prav tako sta bili pozitivno povezani še intenziteta glivne kolonizacije (M %) ter višina in dolžina listov. Višina rastlin je bila v pozitivni povezavi z gostoto svitkov v koreninskem sistemu (S%) in z gostoto mikrosklerocijev tako v koreninskem sistemu (MS%) kot tudi v koloniziranih delih korenin (ms%). Zgoraj navedeno velja tudi za dolžino listov, ki je bila obenem še v pozitivni korelaciji z gostoto veziklov v koreninskem sistemu (V%) in koloniziranih delih korenine (v%) (PRILOGA D).

Bazalni premer močvirskega grinta je bil v negativni povezavi z gostoto arbuskulov v koreninskem sistemu (A%). Višina rastlin pa je bila v pozitivni korelaciji s splošno intenziteto glivne kolonizacije (M%) ter gostoto mikrosklerocijev v koreninskem sistemu (MS%) močvirskega grinta. (PRILOGA D)

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

5.1.1 Glivna kolonizacija in mokrišča

V mokriščih počasna dekompozicija in nizke zaloge hranil, ki so za rastline večinoma nedostopna, vplivajo na razvoj rastlin (Larcher, 2003). Glivna simbioza poleg karnivorije in fiksacije dušika predstavlja pomembno pridobitev za rastline v stresnem okolju, saj infekcija z različnimi glivami lahko omogoči povišan privzem hranil. Fosfor določa produktivnost vodnih in kopenskih ekosistemov, saj je v okolju navzoč v minimalnih količinah. V tleh osiromašenih s fosforjem naj bi rastline z glivno kolonizacijo uspevale bolje kot tiste brez nje, vendar pa previsoke koncentracije fosforja kolonizacijo znižajo (Reynolds in sod., 2003; Cornwell in sod., 2001). Poleg privzema fosforja je povišan tudi privzem dušika.

Trajanje in obseg poplav zelo močno vplivata na uspešnost in preživetje rastlin (Lensen in sod., 1998). Zato je višina vodne gladine Cerknškega jezera pomembna lastnost, ki vpliva na mineralizacijo hranil in produktivnost rastlin (Dolinar in Gaberščik, 2010) ter posledično tudi na glivno kolonizacijo. Tako je bil vodostaj v juliju 2009 na merilnem mestu Dolenje jezero približno 2 m. Rastišče velikega trpotca ni bilo nasičeno z vodo. Nasprotno pa so bila tla, kjer je rasel močvirski grint, poplavljeni. Predvidevamo, da je bila zato glivna kolonizacija močvirskega grinta nizka. Meseca maja 2010, so izmerili na merilnem mestu Dolenje jezero vodostaj približno 3 m, vendar rastišče velikega poletnega zvončka ni bilo poplavljeno. Ob vzorčenju v Zadnjem Kraju avgusta 2010, vode ni bilo, tla so bila vlažna, zato bi pričakovali višjo kolonizacijo togega šaša.

Družina ostričevk (Cyperaceae) je dolgo veljala za nemikorizno (Harley J. L. in Harley E. L., 1987), vendar danes to ne drži (Stevens in sod., 2010; Wang in Qiu, 2006). Tako je Miller skupaj s sodelavci že 1999 poročal o kolonizaciji z AM-glivami in DSE- glivami pri rodu *Carex* v goratih predelih in mokriščih na SZ zvezne države Illinois. Ugotovil je, da je kolonizacija odvisna tako od okoljskih kot filogenetskih dejavnikov. V vlažnih tleh z nizkim pH-jem je bila kolonizacija nizka. Po mnenju Muthukumarja in sodelavcev (2004) je kolonizacija odvisna od habitata, ki ga naseljujejo in prav tako od okoljskih pogojev. Meni,

da se kolonizacija lahko pojavi samo v določenem kratkem obdobju rastne sezone ali pa je prisotna preko cele rastne sezone.

Po mnenju Botheja in sodelavcev (2010), naj bi bile dvokaličnice v mokriščih bolj dovzete za kolonizacijo z glivami kot enokaličnice. To le delno drži, kar je razvidno iz slik 14 in 15. Vendar pa je veliki poletni zvonček enokaličnica in njuna F in M sta imela najvišji vrednosti med preučevanimi rastlinskimi vrstami. Na drugi strani pa je močvirski grint dvokaličnica in frekvenca glivne kolonizacije (F %) in njena intenziteta (M %) sta bili nizki.

Tudi v literaturi lahko zasledimo raziskave, kjer so avtorji glivno kolonizacijo dokazali (Šraj-Kržič in sod., 2006; Bohrer in sod., 2004; Dolinar in sod., 2011; Stevens in sod., 2010) in tudi take, kjer glivna kolonizacija ni bila zabeležena. Šraj-Kržič (2007) navaja, da so bili vezikli prisotni pri vseh preučevanih kopenskih in vodnih primerkih rastlin na Cerkniškem jezeru, vendar pa kolonizacije ni zabeležila pri vrstah *Glyceria fluitans* in *Sparganium emersum*. Prav tako so bili prisotni mikrosklerociji, čeprav je bila njihova pogostnost nizka.

5.1.2 Glivna kolonizacija in koreninski sistem rastlin

Stopnja glivne kolonizacije nekaterih rastlin je že v osnovi višja kot pri drugih. Razvejnost koreninskega sistema in prisotnost koreninskih laskov pomembno prispevata k stopnji glivne kolonizacije (Miller in sod., 1999). Tako imajo rastline z visoko gostoto koreninskih laskov in šopastim koreninskim sistemom (predstavniki iz družin Poaceae in Cyperaceae) običajno nižjo stopnjo glivne kolonizacije (Peat in Fitter, 1993), kar smo opazili tudi pri naši raziskavi.

Veliki poletni zvonček (*Leucjum aestivum*) je geofit, kjer so rezervne snovi nakopičene v čebulici. Peat in Fitter v pregledu iz leta 1993 navajata, da je rastna oblika pomemben dejavnik, ki vpliva na glivno kolonizacijo in zaključita, da je kolonizacija pri geofitih običajno prisotna. O AM mikorizi pri velikem poletnem zvončku poročata tudi Harley J. L. in Harley E. L. (1987) v svojem pregledu flore Velike Britanije. Prisotnost AM gliv zabeležita tudi pri velikem zvončku (*Leucjum vernalis*). V naši raziskavi so bili vsi fragmenti močno inficirani z glivami (slika 14). Frekvenca glivne kolonizacije (F %) je bila tako pri vseh pregledanih koreninskih fragmentih 100 %. V koreninski skorji smo opazili vse struk-

ture, s katerimi opredelimo arbuskularno mikorizo (arbuskuli, vezikli in svitki), vendar so se arbuskuli pojavljali posamično, zato težko govorimo o aktivni mikorizi. Bolje rečeno, o mikorizi kot taki, sploh ne moremo govoriti, ker bi potrebovali dodatne raziskave, s katerimi bi dokazali, katere glive so v fragmentih sploh bile prisotne. Opazili pa smo v fragmentih tudi strukture temno septiranih endofitov; mikrosklerocije, vendar njihova gostota v koreninskem sistemu ni bila visoka (slika 17).

Prav nasprotno pa togi šaš (*Carex elata*), ki je zelnata trajnica, kot hemikriptofit s šopastim koreninskim sistemom nima organa za skladiščenje rezervnih snovi. Razvejan koreninski sistem in velika gostota koreninskih laskov, mu verjetno zagotavljata zadostno črpanje hranilnih snovi. Številne tanke stranske koreninice imajo običajno še manjši premer kot hife in s tem ugodnejše razmerje med površino ter prostornino, kar poviša verjetnost za učinkovitejši privzem hranil iz tal.

Zato lahko pričakujemo nizko stopnjo glivne kolonizacije ali celo njeno odsotnost (Cornwell in sod., 2001). Obe stanji smo zabeležili tudi pri naših analizah, kjer fragmenti določenih rastlin niso bili kolonizirani, ob kolonizaciji pa ta ni preseгла 30%. Nizko stopnjo glivne kolonizacije lahko pripišemo tudi »pionirski naravi« rodu *Carex*. Vrste iz tega rodu se namreč pogosto pojavljajo v zgodnjih sukcesijskih stopnjah v razvoju rastlinske združbe, kjer se lahko zgodi, da primeren inokulum za kolonizacijo ni prisoten (Brundrett, 2009).

Isti avtor meni, da imajo vrste iz nemikoriznih družin alternativne strategije, s katerimi zagotovijo dovolj hranil za rast in razvoj. To so dauciformne korenine, tip proteoidnih korenin, ki se pojavijo bolj pogosto ob nizkih koncentracijah fosforja v tleh. Običajno se pojavljajo v skupinah po 20-30 koreninic in so prekrte s številnimi koreninskimi laski (Lamberts in sod., 2006). Nekaj zametkov dauciformnih korenin smo opazili tudi pri naših rastlinah.

V nekaterih fragmentih togega šaša so bili posamezni vezilki, osamljeni svitki ter celo posamičen arbuskul. Fragmenti so bili kolonizirani tudi s temno septiranimi endofiti, na kar so nakazovali posamezni mikrosklerociji in melanizirane hife. Muthukumar in sodelavci (2004) poročajo o močni kolonizaciji rastlin, s temno septiranimi endofiti v okoljih, kjer mikorizne glive nimajo ustreznih pogojev za uspevanje.

Amfibijske rastline so zelo dobro prilagojene na spreminjanje vodne gladine (Šraj-Kržič in sod., 2009). V času vzorčenja (julij, 2009) so bila tla poplavljena, kar je vplivalo tudi na nižjo glivno kolonizacijo močvirskega grinta. Prisotnost vode je za rastlino predstavljala stres, vendar se mu je rastlina uspela prilagoditi, kar smo opazili tudi pri vrednostih potencialne in dejanske fotokemične učinkovitosti (sliki 12 in 13). Šraj-Kržičeva (2007) meni, da amfibijske rastline z glivno kolonizacijo uspešno kljubujejo spremembam v presihajočih ekosistemih.

Pri visokem trpotcu (*Plantago altissima*), ki je hemikriptofit s plazečo koreniko, smo opazili najmanj mikrosklerocijev (1%), sledijo svitki s 5%, najbolj pogosti so vezikli (22%). Pogostnost arbuskulov ni dosegla 0,5% kar kaže na neaktivno mikorizo v času vzorčenja.

Frekvenca glivne kolonizacije (F %) je bila visoka ter je presegla 95 % (slika 14). Podobno kot čebulica pri velikem poletnem zvončku, tudi korenika vsebuje založne snovi (Peat in Fitter, 1993). Predvidevamo, da je to bil eden izmed vzrokov za višjo glivno kolonizacijo. Drug razlog so lahko tudi cvetoče rastline, saj so Vogel-Mikuš in sodelavci (2006) ugotovili najvišjo frekvenco glivne kolonizacije prav pri cvetoči fenološki fazi rastlin.

5.1.3 Vitalnost rastlin in glivna kolonizacija

Sproščanje vode iz rastline v atmosfero, poteka po načelu difuzije. Na odprtost listnih rež med drugim močno vplivata zmanjšana jakost sevanja in temperatura (Trošt-Sedej, 2005). Poplavljanje in s tem povezana preskrba rastline s kisikom vpliva tudi na nižjo transpiracijo in posledično na razvojne procese v rastlini.

Preko meritev transpiracije ter potencialne in dejanske fotokemične učinkovitosti smo želeli ugotoviti ali so bile naše rastline v času vzorčenja zdrave in niso bile izpostavljene stresu in ali so bile razlike v glivni kolonizaciji povezane s fiziološkim odzivom rastlin.

Rezultati meritev potencialne fotokemične učinkovitosti so pokazali (slika 12), da so bile vse rastline v času vzorčenja vitalne in dobro prilagojene trenutnim razmeram na rastišču.

Pri dejanski fotokemični učinkovitosti smo najnižje vrednosti izmerili pri močvirskem grintu. Ob interpretaciji korelacij med fiziološkimi parametri in glivno kolonizacijo, kjer je bila dejanska fotokemična učinkovitost pozitivno povezana s pogostnostjo veziklov v

koreninskem sistemu (V%) ter tudi v koloniziranih delih korenin (v%), lahko rečemo, da je pozitivna povezava lahko nekoliko prispevala k blažitvi negativnih učinkov opoldanske depresije.

5.2 SKLEPI

- Glivno kolonizacijo smo dokazali pri vseh rastlinskih vrstah. Splošna intenziteta glivne kolonizacije (M %) je bila najvišja pri velikem poletnem zvončku ter najnižja pri togem šašu.
- Vsebnost arbuskulov je bila zelo nizka (ni preseгла 2%) pri vseh rastlinskih vrstah, zato v času vzorčenja ne moremo govoriti o aktivni mikorizi.
- Najvišjo gostoto veziklov, svitkov ter mikrosklerocijev smo opazili pri velikem poletnem zvončku.
- Najmanj glivnih struktur smo zaznali pri togem šašu, sledi mu močvirski grint.
- Nizko glivno kolonizacijo togega šaša lahko pripišemo obliki koreninskega sistema, ki je močno razvejan in številnim koreninskim laskom.
- Veliki poletni zvonček je bil koloniziran tudi s temno septiranimi endofiti kar do sedaj v literaturi še ni bilo objavljeno.
- Ker so bile vse rastline zelo vitalne smo povezavo fizioloških parametrov in stopnjo kolonizacije, samo delno dokazali, pri močvirskem grintu.

6 POVZETEK

Hidrološke razmere in tla z nizko vsebnostjo hranilnih snovi, prispevajo velik delež k izoblikovanju unikatne flore in favne na mokrišču, kjer je ob najvišjem vodostaju poplavljen do 30 km² Cerknškega polja, ob njegovi presahnitvi pa je dobro viden obsežen sistem ponorov in požiralnikov. Vodostaj Cerknškega jezera je lastnost, ki vpliva poleg mineralizacije hranil in produktivnosti rastlin, tudi na glivno kolonizacijo. Pomemben dejavnik infekcije rastlin z glivami imajo tla, ki so revna s fosforjem, saj različni avtorji poročajo, da kolonizirane rastline na takih tleh uspevajo bolje od nekoloniziranih. Cilj diplomske naloge je bil preveriti ali so bile izbrane vrste kolonizirane z glivami in kolikšna je bila ta kolonizacija. Zanimala nas je povezava oblike koreninskega sistema in rastna oblika rastlin ter obseg glivne kolonizacije. Pri terenskem delu smo izmerili še potencialno in dejansko fotokemično učinkovitost. Njuni vrednosti sta pri vseh vrstah pokazali, da so bile rastline v času vzorčenja v dobri kondiciji, vitalne ter niso bile izpostavljene stresu.

Iz rezultatov lahko sklepamo, da je stopnja glivne kolonizacije odvisna od oblike koreninskega sistema. Veliki poletni zvonček, ki je geofit, in visoki trpotec s plazečo koreniko, sta imela višjo frekvenco in splošno intenziteto glivne kolonizacije, kot pa togi šaš in močvirski grint. Zadnji je bil v času vzorčenja poplavljen, kar je vplivalo na nizke vrednosti glivnih parametrov. Šopasti koreninski sistem in številni koreninskimi laski, togemu šašu zagotavljajo zadosten privzem potrebnih hranil. V koreninskem sistemu vrst so bili najpogosteje zastopani vezikli, pri močvirskem grintu pa so bili pogostejši svitki. V rastlinah so bili tudi mikrosklerociji, vendar je bila njihova pojavnost nizka. Največkrat smo jih opazili pri velikem poletnem zvončku. Tudi v koloniziranih odsekih rastlinskega sistema so bili vezikli najpogosteje prisotni, pri močvirskem grintu so prevladovali svitki. Najvišjo gostoto arbuskulov, kjer prihaja do najintenzivnejše izmenjave snovi, smo zabeležili pri visokem trpotcu. Kratkoživost arbuskulov je eden od možnih vzrokov za nizko pojavnost v času naša raziskave. Predvidevamo, da spremembe vodostaja močno vplivajo na glivno kolonizacijo in lahko pretehtajo možne pozitivne učinke glivnih struktur. Glivni parametri niso bili značilno povezani s transpiracijo ter fotokemično učinkovitostjo. Pozitivna povezava med gostoto veziklov ter dejansko fotokemično učinkovitostjo močvirskega grinta, lahko kaže na vitalnost rastline in na blažitev negativnih učinkov opoldanske depresije.

7 VIRI

ARSO - Agencija RS za okolje (www.arso.gov.si, 29. avg. 2011)

Auge M. R. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian J. of Soil Science* 84: 373-381

Addy H.D., Piercey M.M., Curah R.S. 2005. Microfungal endophytes in roots. *Canadian Journal Botany* 83:1-13

Bohrer E. K., Friese F. C., Amon P. J. 2004. Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in differing wetland habitats. *Mycorrhiza* 14: 329-337

Bothe H., Turnau K., Regvar M. 2010. The potencial role of arbuscular mycorrhizal fungi in protecting endangered plants and habitats. *Mycorrhiza* 20: 445-457

Brundrett C. M. 1991. Mycorrhizas in Natural Ecosystems. *Advances in Ecological Research* 21: 171-313

Brundrett C. M. 2006. Understanding the roles of multifunctional mycorrhizal and endophytic fungi. V: Schulz B., Boyle C., Sieber T. N. (eds.), *Microbial root endophytes*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 281-293

Brundrett C. M. 2009. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diver. of host plant by resolving conflicting diagnosis. *Plant Soil* 320: 37-77

Clay K. 1990. Fungal endophytes of grasses. *Annu. Rev. Ecol. System.* 21: 275-295

Chaudhry S. M., Rahman U. S., Ismaiel S. M., Sarwar G., Saeed B., Nasim F. 2009. Coexistence of arbuscular mycorrhizae and dark septate endophytic fungi in an undisturbed and a disturbed site of an arid ecosystem. *Symbiosis* 49: 19-28

Cornwell W. K., Bedford B. L. 2001. Occurence of arbuscular mycorrhizal fungi in a phosphorus-poor wetland and mycorr. response to P fertilization. *American J. of Botany* 88(10):1824-1829

Dolar N., Gaberščik A. 2010. Mycorrhizal colonization and growth of *Phragmites australis* in an intermittent wetland. *Aquatic botany* 93: 93-98

Dolar N., Šraj N., Pongrac P., Regvar M., Gaberščik A. 2011. The presence of Mycorrhiza in Different Habitats of an Intermittent Aquatic Ecosystem. V: Vymazal J. (ed.). *Water and Nutrient Management in Natural and Constructed Wetlands*. Str. 299-308

Gaberščik, A., Urbanc- Berčič O., Kržič N., Kosi G., Brancelj A. 2003. The intermittent Lake Cerknica: Various faces of the same ecosystem. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 8: 159-168

- Gaberščik, A., Urbanc-Berčič O. 2003. Ekosistem, ki ga ustvarja igra vode. V: Jezero, ki izginja. Monografija o Cerkniskem jezeru. Gaberščik A. (ur.), Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana, 51-57
- Gospodarič R., Habič P. 1978. Kraški pojavi Cerkniskega polja. *Acta carsologica* 8: 7-162
- Harley, J. L., E. L. Harley. 1987. A check-list of mycorrhiza in the British flora. *New Phytologist* 105 (Suppl): 1-102
- Hart M. M., Reader J. R., Klironomos N. J. 2003. Plant coexistence mediated by arbuscular mycorrhizal fungi. *Trends in Ecology and evolution* 18 (8): 418-423
- Jumpponen, A. 2001. Dark septate endophytes – are they mycorrhizal? *Mycorrhiza* 11:207-211
- Jumpponen, A., Trappe J.M. 1998. Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root-colonizing fungi. *New Phytologist* 140: 295-310.
- Jurc M. 1994. Glivni endofiti v višjih rastlinah. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 44: 5-43
- Larcher W. 2003. *Physiological Plant Ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. 4. Izdaja. Berlin, Heidelberg, New York, Springer: 513 str.
- Lambers H., Shane M., Cramer M. D. Pearse S. J., Veneklaas E. J. 2006. Root Structure and Functioning for Efficient Acquisition of P.: Matching Morphological and Physiological Traits. *Annals of botany* 98: 693-713
- Langley A. J., Hungate A. B. 2003. Mycorrhizal controls on belowground litter quality. *Ecology* 84 (9), 2302-2312
- Lenssen J. P. M., 1998. The effect of flooding on the recruitment of reed marsh and tall forb plant species. *Plant Ecology* 139: 13-23
- Mandyam K., Jumpponen A. 2008. Seasonal and temporal dynamics of arbuscular and dark septate endophytic fungi in a tallgrass prairie ecosystem. *Mycorrhiza* 18: 145-155
- Martinčič A., Wraber T., Jogan N., Podobnik A., Turk B., Vreš B. 1999. *Mala flora Slovenije. Ključ za določanje praprotnic in semenk*. Ljubljana. Tehniška založba Slovenije. 845 str.
- Martinčič, A. 2003. Praprotnice in semenke. V: Jezero, ki izginja. Monografija o Cerkniskem jezeru. Gaberščik A. (ur.), Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana 73-80
- Martinčič, A., Leskovar I. 2003. Vegetacija. V: Jezero, ki izginja. Monografija o Cerkniskem jezeru. Gaberščik A. (ur.), Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana 81-87

- Miller R. M., Smith C., Jastrow D.J., Bever D. J. 1999. Mycorrhizal status of the genus *Carex* (Cyperaceae). *American Journal of Botany* 86(4): 547-553
- Muthukumar T., Udaiyan K., Shanmughavel P. 2004. Mycorrhiza in sedges – an overview. *Mycorrhiza* 14:65-77
- Newsham K. K., Upson R., Read D. R. 2009. Mycorrhizas and dark septate root endophytes in polar regions. *Fungal ecology* 2 (1): 10-20
- Newsham K. K. 2011. A meta-analysis of plant responses to dark septate root endophytes. *New Phytologist* 190: 783-793
- Peat H. J., Fitter A. 1993. The distribution of arbuscular mycorrhizas in the British flora. *New Phytologist* 125: 845-854
- Petrini O. 1996. Ecological and physiological aspects of host-specificity in endophytic fungi. V: Redlin SC., Carris LM. (ur.) *Endophytic fungi in grasses and woody plants. Systematics, ecology and evolution*. APS, St. Paul, 87-100
- Philips J. M., Hayman D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-160
- Regvar M., Vogel-Mikuš K. 2008. Arbuscular Mycorrhiza in Metal Hyperaccumulating Plants. V: Varma A. (ed.). *Mycorrhiza*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg
- Reynolds H. L., Paclar A., Bever D. J., Clay K. 2003. Grassroots Ecology: Plant-Microbe-Soil Interactions as Drivers of Plant Community Structure and Dynamics. *Ecology* 84 (9): 2281-2291
- Rodriguez R.J., White J.F. Jr., Arnold A.E., Redman S.R. 2009. Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytologist* 182: 314-330
- Stergaršek J. 2009. *Cvet skrivnosti: Vodnik po rastlinskem svetu Cerkniskega jezera in okolice*. 1. Izdaja. Cerknica: Notranjski regijski park.
- Smith S. E., Read D.J., 1997. *Mycorrhizal symbiosis*, 2nd edition. Academic Press, London, UK
- Stevens J. K., Wellner R. M., Acevedo F. M. 2010. Dark septate endophyte and arbuscular mycorrhizal status of vegetation colonizing a bottomland hardwood forest after a 100 year flood. *Aquatic botany* 92: 105-111
- Stuermer L.S. 2012. A history of the taxonomy and systematics of arbuscular mycorrhizal fungi belonging to the phylum Glomeromycota. *Mycorrhiza* 22(4), 247-258

- Šraj-Kržič N. 2007. Tekmovalne prednosti makrofitov v presihajočih vodnih telesih. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 88 str.
- Šraj-Kržič N., Pongrac P., Klemenc M., Kladnik A., Regvar M., Gaberščik A. 2006. Mycorrhizal colonization in plant from intermittent aquatic habitats. *Aquatic botany* 85: 331-336
- Šraj-Kržič N., Pongrac P., Regvar M., Gaberščik A. 2009. Photon –harvesting efficiency and arbuscular mycorrhiza in amphibious plants. *Photosynthetica* 47(1): 61-67
- Trošt Sedej T. 2005. Ekologija rastlin: priročnik za vaje. Ljubljana. Študentska založba. 81 str.
- Turk. 2010. Dinamika podzemne vode v kraškem zaledju izvirov Ljubljanice. Postojna: Inštitut za raziskovanje Krasa. ZRC SAZU. Ljubljana: Založba ZRC. 24-25 str.
- Trouvelot A, Kough JL, Gianinazzi-Pearson V. 1986. Mesure de taux de mycorrhization VA d'un systme raculaire. Recherche de methodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. V: Gianinazzi-Pearson V., Gianinazzi S. (ed.) *Physiological and genetical aspects of mycorrhizae*. INRA, Paris, 217–221.
- Usuki F., Narisawa K. 2007. A mutualistic symbiosis between a dark septate endophytic fungus, *Heteroconium chartospira*, and a nonmycorrhizal plant, Chinese cabbage. *Mycologia* 99 (2), 175-184
- Varma A. 1999. Functions and Application of AM fungi in Arid and Semi-arid soil. V: Varma A., Hock B. (ed.). *Mycorrhiza: structure, function, molecular biology, and biotechnology*. Berlin, Springer, str. 521-556
- Voesenek L. A. C. J., Colmer T. D., Pierik R., Millenaar F. F., Peeters A. J. M. 2006 How plants cope with complete submergence. *New Phytologist* 170: 213-226
- Vogel – Mikuš K., Pongrac P., Kump P., Nečemer M., Regvar M. 2006. Colonization of a Zn, Cd and Pb hyperaccumulator *Thlaspi praecox* Wulfen with indigenous arbuscular mycorrhizal fungal mixture induces changes in heavy metal and nutrient uptake. *Environmental pollution* 139: 362-371
- Wang B., Qiu Y. L. 2006. Phlogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza* 16: 299-363
- Weber D. 2009. Endophytic Fungi, Occurrence and Metabolites. V: Anke T. in Weber D. (ur.) *The Mycota. Physiology and Genetics, Selected Basic and Applied Aspects*. Springer Verlag, Berlin, Germany
- Zupančič, B. 2003. Klima. V: Jezero, ki izginja. Monografija o Cerknškem jezeru. Gaberščik A. (ur.), Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana 5-13

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici prof. dr. Alenki Gaberščik za potrpežljivost med nastajanjem diplome in vse koristne napotke in nasvete. Najlepša hvala za hiter pregled diplomskega dela in tehtne pripombe.

Prav tako se želim zahvaliti recenzentki doc. dr. Katarini Vogel- Mikuš za hiter pregled in tehtne popravke pri diplomskem delu.

Zahvaljujem se Draganu za tehnično pomoč in Nataši za nasvete pri pripravi in pregledovanju vzorcev.

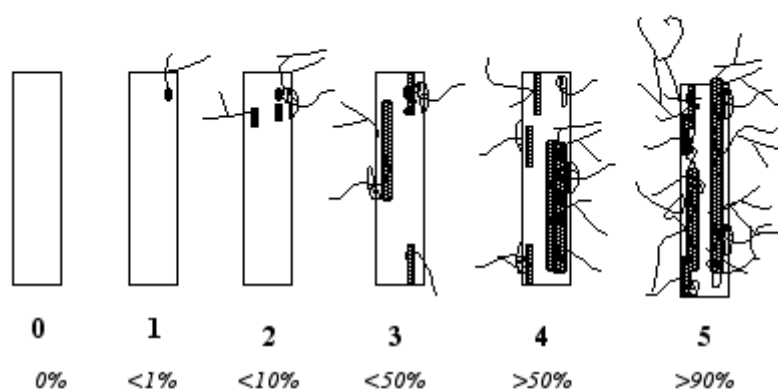
Najlepša hvala družini za potrpežljivost in razumevanje ter vso podporo v času študija.

Najlepša hvala vsem, ki so kakorkoli pripomogli k nastanku diplomskega dela, vendar jih nisem posebej omenila.

PRILOGE

PRILOGA A: Šeststopenjska ter 4-stopenjska lestvica za ocenjevanje glivne kolonizacije.
(vir: povzeto po Trouvelot in sod. 1986)

SCORING MYCORRHIZAL COLONIZATION IN CLASSES FROM 0 TO 5



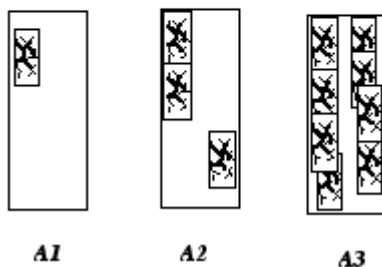
SCORING ARBUSCULE ABUNDANCE

None : A0

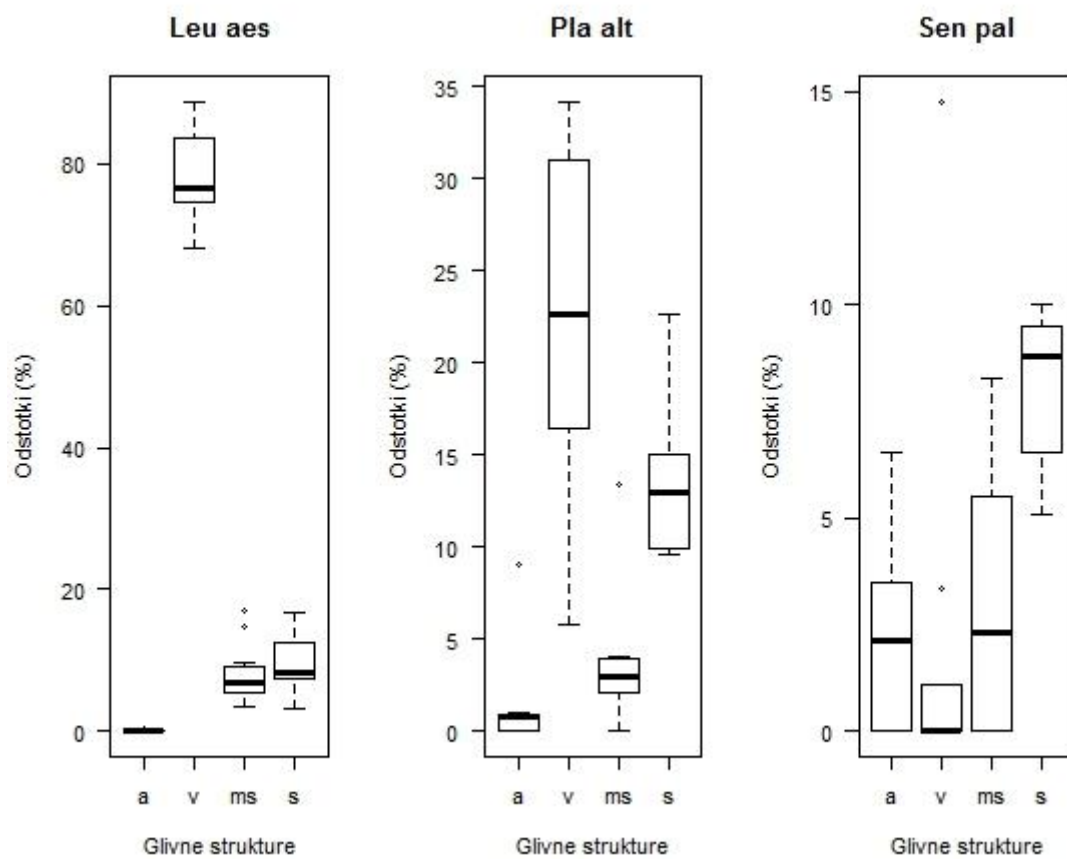
Few arbuscules : A1

Frequent : A2

Abundant : A3



PRILOGA B: Gostota glivnih struktur v koloniziranih delih koreninskega sistema velikega poletnega zvončka, močvirskega grinta in visokega trpotca. Podatki so prikazani kot box plot. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o).



PRILOGA C: Spermanovi koeficienti korelacije med fiziološkimi parametri in glivnimi strukturami v koreninskem sistemu in koloniziranih delih koreninskega sistema pri preučevanih rastlinah. * $p < 0.05$, $n=10$ (Pla alt, Sen pal) $n=12$ (Car ela, Leu aes)

Togi šaš (*Carex elata*)

| | TRANS | Fv/Fm | Y |
|-----|---------|---------|---------|
| F% | -0,2617 | -0,2052 | -0,2202 |
| M% | -0,1869 | 0,0111 | -0,3620 |
| m% | -0,2467 | 0,2127 | -0,2873 |
| a% | -0,2206 | 0,3763 | -0,4314 |
| A% | -0,2206 | 0,3763 | -0,4314 |
| v% | -0,1093 | 0,1403 | -0,2495 |
| V% | -0,1017 | 0,1172 | -0,2852 |
| s% | -0,3746 | 0,1383 | -0,3328 |
| S% | -0,1760 | 0,0972 | -0,3440 |
| ms% | -0,2318 | -0,0410 | -0,0933 |
| MS% | -0,0674 | 0,0598 | -0,1645 |

Veliki poletni zvonček (*Leucojum aestivum*)

| | TRAN | Fv/Fm | Y |
|-----|--------|---------|---------|
| M% | 0,2031 | -0,0936 | -0,3421 |
| m% | 0,2031 | -0,0936 | -0,3421 |
| a% | 0,3937 | 0,0437 | 0,1310 |
| A% | 0,3937 | 0,0437 | 0,1310 |
| v% | 0,1821 | -0,3957 | -0,1328 |
| V% | 0,2802 | -0,3047 | -0,2447 |
| s% | 0,2451 | -0,2381 | 0,2517 |
| S% | 0,2736 | -0,2192 | 0,2381 |
| ms% | 0 | 0,4273 | -0,1118 |
| MS% | 0,0070 | 0,4133 | -0,2797 |

Visoki trpotec (*Plantago altissima*)

| | TRAN | Fv/Fm | Y |
|-----|---------|---------|---------|
| F% | 0,1740 | 0,4061 | -0,2328 |
| M% | -0,2484 | -0,2484 | 0,1094 |
| m% | -0,2121 | -0,2606 | 0,1094 |
| a% | -0,1188 | -0,5627 | 0,1317 |
| A% | -0,1188 | -0,5627 | 0,1317 |
| v% | 0,3212 | -0,0666 | -0,1519 |
| V% | 0,3575 | -0,1393 | -0,0790 |
| s% | 0,0666 | -0,1393 | 0,0364 |
| S% | 0,1757 | -0,1878 | -0,1337 |
| ms% | -0,4909 | 0,5515 | -0,0911 |
| MS% | -0,4787 | 0,4666 | 0,0060 |

Močvirski grint (*Senecio paludosus*)

| | TRANS | Fv/Fm | Y |
|-----|---------|---------|---------|
| F% | -0,0972 | 0,4359 | 0,0121 |
| M% | 0,6686 | -0,2188 | 0,0424 |
| m% | -0,0060 | -0,0547 | -0,1272 |
| a% | -0,2813 | -0,0721 | -0,4627 |
| A% | -0,2563 | 0,0407 | -0,4127 |
| v% | -0,3206 | -0,5908 | 0,7382* |
| V% | -0,3057 | -0,5534 | 0,6934* |
| s% | 0,0666 | 0,2431 | -0,4909 |
| S% | -0,0424 | 0,02431 | -0,1151 |
| ms% | 0,3001 | 0,0407 | 0,0437 |
| MS% | -0,2000 | 0,0282 | -0,0062 |

PRILOGA D:

D1. Spermanovi koeficienti korelacije med rastnimi parametri in glivnimi strukturami v koreninskem sistemu in koloniziranih delih koreninskega sistema pri togem šašu. (r=0,5874, *p < 0.05), n=12

| | Višina [cm] | Število listov | Dolžina listov [cm] | Suha masa [g] |
|-----|-------------|----------------|---------------------|---------------|
| F% | 0,7322* | -0,2534 | 0,7982* | 0,2911 |
| M% | 0,6723* | -0,3493 | 0,7234* | 0,3806 |
| m% | 0,6835* | -0,5169 | 0,7047* | 0,4702 |
| a% | 0,2671 | -0,4172 | 0,4229 | 0,2019 |
| A% | 0,2671 | -0,4172 | 0,4229 | 0,2019 |
| v% | 0,4851 | -0,3961 | 0,7342* | 0,2495 |
| V% | 0,4823 | -0,3698 | 0,7241* | 0,2422 |
| s% | 0,6999 | -0,4580 | 0,5394 | 0,4375 |
| S% | 0,6473* | -0,4080 | 0,7136* | 0,3926 |
| ms% | 0,8146* | -0,3932 | 0,6300* | 0,5225 |
| MS% | 0,6811* | -0,4180 | 0,7698* | 0,4338 |

D2. Spermanovi koeficienti korelacije med rastnimi parametri in glivnimi strukturami v koreninskem sistemu in koloniziranih delih koreninskega sistema pri močvirskem grintu. (r=0,6485, *p < 0.05), n=10

| | Višina [cm] | Bazalni premer [mm] | Suha masa [g] |
|-----|-------------|---------------------|---------------|
| F% | 0,5365 | -0,1402 | 0,0243 |
| M% | 0,6686* | -0,2188 | 0,0424 |
| m% | 0,6079 | -0,2492 | 0,0909 |
| a% | -0,0627 | -0,6240 | -0,3251 |
| A% | 0,3136 | -0,6491* | -0,3251 |
| v% | 0,4412 | 0,2243 | 0,1416 |
| V% | 0,4562 | 0,1121 | 0,0820 |
| s% | -0,0851 | -0,1398 | -0,0545 |
| S% | 0,5835 | -0,3161 | -0,0545 |
| ms% | 0,6334 | -0,1160 | 0,1063 |
| MS% | 0,6711* | -0,2728 | -0,0187 |

D3. Spermanovi koeficienti korelacije med rastnimi parametri in glivnimi strukturami v koreninskem sistemu in koloniziranih delih koreninskega sistema pri visokem trpotcu. (r=0,6485, *p < 0.05), n=10

| | Višina [cm] | Bazalni premer [mm] | Suha masa [g] |
|-----|-------------|---------------------|---------------|
| F% | -0,5222 | -0,2364 | -0,0580 |
| M% | 0,1030 | 0,4074 | 0,0303 |
| m% | 0,1878 | 0,4877 | 0,0909 |
| a% | -0,3501 | -0,5095 | -0,7441* |
| A% | -0,3501 | -0,5095 | -0,7441* |
| v% | 0,0303 | 0,6112 | 0,4060 |
| V% | -0,006 | 0,5926 | 0,3212 |
| s% | 0,0303 | 0,4321 | 0,0666 |
| S% | -0,1272 | 0,4013 | -0,0181 |
| ms% | 0,3818 | 0,2901 | 0,0666 |
| MS% | 0,3939 | 0,3519 | 0,0545 |

D4. Spermanovi koeficienti korelacije med rastnimi parametri in glivnimi strukturami v koreninskem sistemu in koloniziranih delih koreninskega sistema pri velikem poletnem zvončku. ($r=0,5874$ * $p < 0.05$), $n=12$

| | Višina [cm] | Št. listov | Dolžina listov [cm] |
|-----|-------------|------------|---------------------|
| M% | -0,1049 | -0,0217 | 0,2102 |
| m% | -0,1049 | -0,0217 | 0,2103 |
| a% | 0,2203 | 0,3576 | 0,1312 |
| A% | 0,2203 | 0,3576 | 0,1312 |
| v% | 0,3527 | -0,1825 | 0,0140 |
| V% | -0,2328 | -0,0537 | 0,0981 |
| s% | -0,1411 | 0,0966 | -0,1401 |
| S% | 0,0317 | 0,1288 | 0,0315 |
| ms% | -0,4021 | 0,7301* | -0,0210 |
| MS% | -0,3993 | 0,6991* | -0,0175 |

| | Dolžina socvetja [cm] | Premer čebulice [mm] | Suha masa [g] |
|-----|-----------------------|----------------------|---------------|
| M% | 0,0147 | 0,3587 | -0,1023 |
| m% | 0,0147 | 0,3587 | -0,1023 |
| a% | 0,5019 | 0,4812 | 0,4804 |
| A% | 0,5019 | 0,4812 | 0,4804 |
| v% | -0,1754 | -0,2697 | -0,1748 |
| V% | -0,0292 | -0,2067 | -0,0629 |
| s% | 0,1461 | -0,0911 | 0,0970 |
| S% | 0,2557 | -0,1331 | 0,2238 |
| ms% | -0,2849 | -0,2942 | 0,6503* |
| MS% | -0,2525 | -0,2930 | 0,6445* |