

GDK: 172.8 : 174.7 *Picea abies* (L.) Karst. + 174 : 181.45 : (497.12 Šoštanj)

Prispelo/Received: September/September 1998

Izvirni znanstveni članek

Sprejeto/Accepted: Oktober/October 1998

Original scientific paper

TIPI EKTOMIKORIZE, ZNAČILNI ZA ŠEST MESECEV STARE SEMENKE SMREKE

Samar AL SAYEGH PETKOVŠEK*, Hojka KRAIGHER**

Izvleček

V imisijskem območju Termoelektrarne Šoštanj smo izbrali različno onesnažene ploskve (Zavodnje in Mislinjski graben) in jim določili mikorizni potencial s prirejeno metodo lončne analize. Hkrati smo analizirali tipe ektomikorize. Raziskave so potekale v dveh serijah (marec - junij 1993, februar - junij 1994). V prvi seriji analiz smo identificirali naslednje tipe ektomikorize: tip A93 (*Piceirhiza horti - atrata*), tip B93 (*Piceirhiza guttata*), tip C93 (verjetno nov, še neopisan tip) in D93 (*Piceirhiza horti - inflata*). V drugi seriji analiz smo določili druge tipe ektomikorize: tip E94, tip F94, tip G94, tip H94 (vsi štiri še neopisani) in *Cenococum geophilum*. V številu tipov in v tipih ektomikorize ni bilo razlik med semenkami, ki so rastle na bolj oziroma manj onesnaženem substratu. V članku so predstavljeni tipi ektomikorize, za katere nismo našli ustreznih opisov v literaturi in se razvijejo na koreninah nekaj mesecev starih semenk smrek.

Ključne besede: tip ektomikorize, semenska, smreka (*Picea abies* (L.) Karst.), mikorizni potencial, gozdno rastišče, onesnaženost tal

TYPES OF ECTOMYCORRHIZAE CHARACTERISTIC FOR SIX MONTHS OLD NORWAY SPRUCE SEEDLINGS

Abstract

Two differently polluted forest research sites (with two plots on each site) were selected for analyses of soil mycorrhizal potential in the emission area of the Thermal Power Plant in Šoštanj. A modified pot-analysis method was applied in combination with characterisation of types of ectomycorrhizae. The studies were carried out in two series (March to June 1993 and February to June 1994). In the first series of analyses, we identified the following types of ectomycorrhizae: type A93 (*Piceirhiza horti - atrata*), type B93 (*Piceirhiza guttata*), type C93 (probably new, as yet not-described type) and D93 (*Piceirhiza horti - inflata*). In the second series of analyses the following types were described: type E94, F94, G94, H94 (all four not-described yet) and the type *Cenococum geophilum*. There were no significant differences in the number and identification of types of ectomycorrhizae between the seedlings that grew on more or less polluted soil substrates. In this paper we present the types of ectomycorrhizae, colonising the roots of several months old Norway spruce seedlings, which have not been comprehensively described so far.

Key words: type of ectomycorrhizae, Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), seedlings, mycorrhizal potential, forest site, site pollution

* mag., ERICO Velenje, Inštitut za ekološke raziskave, Koroška 58, 3320 Velenje, SLO

** dr. zn., docentka, Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, SLO

**VSEBINA
CONTENTS**

1	UVOD	
	INTRODUCTION.....	95
2	METODE	
	METHODS.....	95
3	REZULTATI	
	RESULTS.....	97
3.1	OPISI NEKATERIH TIPOV EKTOMIKORIZE	
	DESCRIPTIONS OF SOME TYPES OF ECTOMYCORRHIZA	97
3.2	DELEŽI TIPOV EKTOMIKORIZE IN DELEŽ	
	MIKORIZNIH KRATKIH KORENIN PERCENTAGE OF TYPES OF ECTOMYCORRHIZAE AND OF MYCORRHIZAL SHORT ROOTS	102
4	RAZPRAVA	
	DISCUSSION.....	103
5	VIRI	
	REFERENCES.....	106
	ZAHVALA	
	ACKNOWLEDGEMENTS	107
	PRILOGA	
	APPENDIX	108

1 UVOD

INTRODUCTION

V centralni Evropi se je v zadnjem desetletju pojavil nov tip propadanja gozdov, ki je povezan z degradacijo tal, pomanjkanjem hranil, propadanjem korenin in motnjami v delovanju mikorize (MEJSTRIK 1989). Poleg naravnih stresnih dejavnikov (suša, zmrzal, bolezni) so se pojavili novi dejavniki antropogenega izvora. Ti dejavniki, zračni onesnaževalci in njihovi derivati (SO_2 , NO_x , NH_x) (PFANZ *et al.* 1989), prispevajo k propadanju mikorize. Vzroka za zmanjšanje ektomikorize sta v glavnem dva. Prvi je zmanjšanje vitalnosti dreves zaradi zmanjšane fotosinteze (neposredni vpliv onesnaževanja na gozdno drevje, posredni na mikorizo) in manjše količine ogljikovih hidratov, ki se transportirajo h kratkim koreninam. Drugi negativni vpliv (posredni vpliv onesnaževanja na gozdno drevje in neposredni na mikorizo) pa predstavljajo spremembe v tleh zaradi povečane kislosti in kopičenja dušika (ARNOLDS 1991).

Odgovor gliv na te vplive je vrstno specifičen. Različne vrste gliv različno reagirajo na onesnaževanje. Bolj občutljive vrste zamenjajo vrste ektomikoriznih gliv, ki so bolj prilagojene na nove razmere. Mnoge ektomikorizne glive so občutljivi bioindikatorji onesnaženosti (KRAIGHER *et al.* 1996) in zato je pomembno poznati vrstno sestavo ektomikoriznih gliv v gozdnih ekosistemih.

V raziskavi smo analizirali mikorizni potencial tal in hkrati določili tipe ektomikorize, ki so se pojavili na kratkih koreninah semenk smreke. Skušali smo najti povezavo med različno onesnaženimi tlemi in tipi ektomikorize, ki se pojavljajo na kratkih koreninah semenk, ki so rastle na substratu s teh tal. V prispevku pregledno prikazujemo rezultate mikoriznega potenciala tal in kratke opise tipov ektomikorize, značilnih za šest mesecev stare semenke smreke, vzgojene na talnih substratih iz Zavodnjah in Mislinjskega grabna.

2 METODE

METHODS

Z raziskavo smo želeli določiti mikorizni potencial različno onesnaženih gozdnih rastišč. V imisijskem območju TEŠ smo izbrali različno onesnažene gozdne ploskve, ki so si med seboj primerljive po značilnostih tal in rastišč. Ploskvi v Zavodnjah ležita v onesnaženem območju, ploskvi v Mislinjskem grabnu pa v relativno čistem območju.

Metoda, ki smo jo uporabili za analizo mikoriznega potenciala tal, je prirejena metoda lončne analize mikoriznega potenciala in je povzeta po KROPAČKU in sod. (1988). Mikorizni potencial je definiran kot sposobnost propagulov naravno prisotnih ektomikoriznih gliv v gozdnih tleh, da tvorijo mikorizo s semenkami smreke. Izrazili smo ga z deležem mikoriznih kratkih korenin glede na skupno število kratkih korenin v vzorcu. Vzorčili smo talne vzorce ploskev pretežno OhAh horizonta tal. Vzorčili smo ob smrekah tako, da smo odstranili zgornjo plast opada. Sproti smo odstranjevali večje korenine, kamenje in druge dele. Vso zemljo smo nato premešali in presejali skozi 2 mm sito. V lončke smo presadili tri tedne stare semenke smreke, ki so vzkalile v petrijevkah na perlitu v sterilnem okolju. V vsakem lončku smo analizirali pet semenk, skupno število semenk je bilo 25 (oziroma 20 v prvi seriji analiz), ki so rastle v substratu z določene raziskovalne ploskve. Število ponovitev (semenk) smo izračunali po formuli za preizkušanje razlik med malimi vzorci (ČOKL 1990). Sredi oktobra 1992 smo vzorčili za prvo serijo analiz, za drugo pa konec avgusta 1993. Štiri do šest mesecev so semenke rastle v kalilniku, kjer so bile razmere za vse semenke enake. Intenziteta fotosintetsko aktivnega dela spektra je bila $90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, temperatura je nihala med 22 in 25°C , relativna vlaga zraka se je gibala med 50 - 80 %. Po približno šestih mesecih smo na kratkih koreninah določili deleže mikoriznih kratkih korenin in tipe ektomikorize.

Raziskavo mikoriznega potenciala tal smo dvakrat ponovili. Prvo serijo semenk smo analizirali med marcem in junijem 1993 (v nadaljevanju: prva serija analiz), drugo pa med februarjem in junijem 1994 (druga serija analiz).

V prvi seriji analiz smo v vsakem območju izbrali po dve ploskvi z različnim svetlobnim režimom. Zastrtost ploskev Mislinjski graben 5 in Zavodnje 5 je bila 80 %, zastrtost ploskev Mislinjski graben 2 in Zavodnje 4 pa 50 %. V drugi seriji smo se osredotočili le na ploskev 5 v Mislinjskem grabnu in ploskev 5 v Zavodnjah.

Mikorizni potencial manj in bolj onesnaženega območja smo analizirali vzporedno, po en lonček s semenkami, ki so rastle na substratu s ploskve 5 ali 4 v Zavodnjah in en lonček s semenkami, ki so rastle na substratu s ploskve 5 ali 2 v Mislinjskem grabnu.

Pri vsaki semenki smo prešteli vse kratke korenine in določili delež mikoriznih kratkih korenin. Od celotne vsote mikoriznih kratkih korenin smo odšteli tiste, pri katerih je bila mikoriza prestara ali pogosteje premalo razvita, da bi lahko določali tipe ektomikorize.

Tipe ektomikorize smo določali po metodah, opisanih v Barvnem atlasu ektomikorize (AGERER 1987 - 1997). Posamezne tipe ektomikorize smo primerjali z ustrezno izvirno literaturo (GRONBACH 1988, WEISS 1989, TREU 1990). V prispevku je poudarek na kratkih opisih tipov ektomikorize, ki smo jih identificirali na semenkah smreke iz lončnega poskusa in za katere v literaturi nismo našli opisov.

3 REZULTATI RESULTS

3.1 OPISI NEKATERIH TIPOV EKTOMIKORIZE DESCRIPTIONS OF SOME TYPES OF ECTOMYCORRHIZA

TIP EKTOMIKORIZE C93

Mikoriza je črnorjave barve z vidnimi temno rjavimi hifami. Značilni so delčki zemlje na hifah. Razraščanje je monopodialno do monopodialno - piramidalno. Mikorizna os in nerazrasli konci so rahlo nagubani. Dolžina mikorizne osi je do 5.5 mm, debelina pa od 0.3 do 0.5 mm. Dolžina nerazvejanih koncev znaša od 0.3 do 1.5 mm, premer pa je enak premeru mikorizne osi.

Rizomorfov ni, izhajajoče hife so rahlo volnate. So rjave barve, gladke, z enostavnimi septami. Interseptalna dolžina znaša 20 - 45 μm , premer hif pa 5 do 7 μm .

Zgornja površina plašča je plektenhimatska, hife so tanjše (5 μm) in spominjajo na zvezdasto strukturo, ki je podobna plašču ektomikoriznega tipa *Cenococcum geophilum*. Barva hif je svetlo rjava, celične stene so temnejše, rjave barve. Interseptalna dolžina je 5.5 do 16.5 μm , premer pa 3.5 do 7.5 μm . Spodnja površina plašča je pseudoparenhimatska (Priloga 1, Slika d; Priloga 2, Slika a - d). Celice so kroglaste do angularne oblike, pojavlja se celo epidermoidna struktura plašča. Celice so različnih velikosti, v predpisanem kvadratu 20 x 20 μm je manj kot ena celica (polovica do tri četrtine celice), če so celice manjše, so v kvadrantu do 3 celice.

Ko smo preparatu plašča dodali kisli fuksin, FeSO_4 , KOH, Melzerjev reagent, fenol anilin in sulfovanilin, nismo opazili nobenih sprememb barve.

Ektomikorizni tip, ki ga opisujemo, ne ustreza nobenemu dosedaj opisanemu tipu, plašč nekoliko spominja na tip *Quercirhiza atrata*, ki pa je bila opisana na hrastu, ne na smreki. Tudi plašč ne ustreza v celoti temu tipu, ker ima *Quercirhiza atrata* zvezdasto strukturo v vsej ravnini. Sklepamo, da ta tip ektomikorize pri smreki doslej še ni bil opisan.

Največji odstotek tega tipa se je pojavil na kratkih koreninah semenk, ki so rastle na substratu s ploskve 2 v Mislinjskem grabnu (40.8 % od vseh določljivih mikoriznih kratkih korenin), nato pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve 4 v Zavodnjah (17 %) in najmanjši odstotek pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve 5 iz Mislinjskega grabna (5.3 % od določljivih mikoriznih kratkih korenin). Pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve 2 v Mislinjskem grabnu, tega tipa ektomikorize nismo zasledili.

TIP EKTOMIKORIZE E94

Barva mikorizne korenine ustreza rjavi barvi korenine, konice so svetlejšje. Na površini mikorizne korenine in na hifah so drobcji zemlje. Na površini plašča je rahel pajčolan hif. Mikorizna os in nerazrasli konci so ravni do rahlo zviti in grbinasti. Razrast je monopodialno piramidalna, dolžina mikorizne osi je 2.3 do 14 mm, premer mikorizne osi pa znaša 0.3 do 0.4 mm. Dolžina nerazraslih koncev je od 0.1 do 2.5 mm, debelina pa 0.2 do 0.3 mm.

Hif, ki izhajajo iz plašča, je nekaj do precej. Rizomorfov ni. Hife so dobro vidne, svetle in se razraščajjo. Posamezne anastomoze so zaprtega tipa s septo v hifnem mostičku. Dolžina hif je 30 do 40 μm , premer pa 3 do 7 μm . Septe so brez zaponk. Večina hif je gladkih, zelo redko se pojavljajo inkrustracije, ki večinoma niso globularne. Premer inkrustracij je večji od 1 μm . Hife z inkrustracijami so temnejše.

Plašč je tanek. Zgornja površina plašča je mrežasto plektenhimatska. Hife so nepravilno oblikovane (prehodni tip H). Dolžina hif je 10.5 do 26 μm , premer pa je od 2.5 do 5.5 (6.5) μm . Značilne so neizrazite globularne inflacije na koncih hif (Priloga I, Slika c). Spodnja plast plašča je pseudoparenhimatska, sestavljen je iz ene ali dveh plasti. V kvadratu najdemo do 10 celic.

Barvni testi: kisli fuksin: citoplazma se obarva roza; svetleče kresilno modro: ponekod modrozeleno citoplazma; anilinsko modro v mlečni kislini: modra citoplazma; etanol 70

%, FeSO_4 , formol, gvajak, KOH 15%, mlečna kislina, melzerjev reagent, fenol, sulfovanilin: ni sprememb.

Tip E94 smo identificirali le na kratkih koreninah semenk, ki so rastle na substratu s ploskve 5 iz Mislinjskega grabna. Pojavljal se je pri semenkah, ki so rastle na substratu v lončkih 3, 4 in 5. Delež ektomikoriznega tipa E94 od vseh določljivih tipov se je gibal od 54 % (lonček M4) do 65 % (lonček M3). Pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve 5 v Zavodnjah, tega tipa ektomikorize nismo našli.

Glede na zgoraj opisane značilnosti sodimo, da tip E94 ne ustreza nobenemu do sedaj opisanemu tipu in da gre za doslej še neopisan tip ektomikorize.

TIP EKTOMIKORIZE F94

Površina mlajših delov mikorizne korenine je bleščeča, svetlo oker oziroma rumene barve, starejši deli karbonizirajo. Razraščanje je enostavno, dolžina mikoriznega sistema je 0.6 do 1.6 mm, dolžina nerazraslih koncev pa do 0.3 mm. Premer mikorizne osi je 0.3 mm, premer nerazraslih koncev pa 0.2 do 0.3 mm, nerazvejani konci so rahlo zviti.

Rizomorfov ni. Izhajajočih hif je nekaj do precej. So tanke, svetle z delčki zemlje na površini. Značilne so pogoste anastomoze, ki so odprtega tipa. Hife so tanke (2-3 μm). Septe so enostavne, interseptalna dolžina je razmeroma dolga (50 μm). Hife se razraščajo.

Plašč je plektenhimatski.

Tip ektomikorize F94 se je pojavljal le pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve 5 iz Zavodnjah. Pojavljal se je na kratkih koreninah semenk, ki so rastle v lončkih 3, 4 in 5, v precej velikem deležu (od 98 % do 51 % od vseh določljivih mikoriznih kratkih korenin). Pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve 5 iz Mislinjskega grabna, tega tipa ektomikorize nismo našli.

Zgoraj opisane značilnosti ne ustrezajo nobenemu opisanemu tipu ektomikorize.

TIP EKTOMIKORIZE G94

Mikorizna korenina je temnorjave barve s svetlejšimi konicami. Na površini korenine najdemo delčke zemlje. Razrast je monopodialna do monopodialno - piramidalna. Dolžina mikoriznega sistema je 5 mm, premer pa 0.3 mm. Dolžina nerazraslih koncev znaša do 1.2 mm, premer pa 0.2 do 0.3 mm. So rahlo zviti.

Rizomorfov ni. Redke izhajajoče hife so svetle, tanke in kratke. Izhajajoče hife so brez zaponk, razmeroma tanke (3 μm) z interseptalno dolžino od 25 (30) μm do 50 μm . Ponekod se hife razraščajo. Barva hif je svetla, površina je gladka do zrnata.

Plašč je pseudoparenhimatski, značilne so epidermoidne celice. Debelina sten je 1 μm , v predpisanem kvadratu najdemo 1 do 1.5 celic.

Ektomikorizni tip G94 smo našli le pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve iz Mislinjskega grabna in to samo v lončku M4, kjer se je ta ektomikorizni tip pojavljal z 11 %.

TIP EKTOMIKORIZE H94

Mikorizna korenina je črne barve z volnatimi črnimi hifami. Je svetleče barve z delčki zemlje. Makroskopsko je mikorizna korenina zelo podobna tipu *Cenococum geophilum* tako, da je ne moremo ločiti od tega tipa. Zato smo tip ektomikorize H94 in tip *Cenococum geophilum* uvrstili v skupino, imenovano »črni« ektomikorizni tipi. Naš tip se je nekoliko ločil od tipa *Cenococum geophilum*, ker mikorizna korenina ni bila tako globularna, ampak bolj podolgovata, ker je bilo manj izhajajočih hif in, ker je bila mikorizna korenina večasih nekoliko rjave barve.

Razrast je monopodialna ali enostavna, dolžina mikorizne osi je 0.3 do 1 mm, premer pa 0.4 do 0.6 mm. Mikorizna os je ravna oziroma rahlo zvita.

Rizomorfov ni. Izhajajoče hife imajo enostavne septe, interseptalna dolžina znaša od 40 do 57 μm , premer pa 4-5 μm , so nekoliko tanjše od hif tipa *C.g.*, tudi stene so tanjše kot stene hif tipa *C.g.* Hife se razraščajo. Najdemo tudi anastomoze, ki so odprtega tipa s hifnim mostičkom (tip D), druge pa so brez hifnega mostička. Pri razraščanju hif in anastomozah so celične stene odebeljene. Hife so rjave barve, stene so temnejše. Nekatere

hife so granulirane, srednje zrnate. Premer granul znaša od 0.5 do 1 μm . Takšen tip hif se razlikuje od hif tipa *Cenoccocum geophilum*. Poleg temnih hif najdemo precej pogosto tudi svetle, nekatere med njimi so tudi granulirane.

Plašč se tudi značilno razlikuje od plašča, ki je tipičen za tip *Cenoccocum geophilum*. Za zgornjo plast je značilen plektenhim z nepravilno obliko hif, mreža spominja na zvezdasti plektenhimatski vzorec (Priloga 1, Slika a). Dolžina hif je od 3.5 do 35.5 μm , premer pa 3 do 7 μm . Barva je rjava s temnejšimi stenami. Spodnja plast plašča je pseudoparenhimatska (Priloga 1, Slika b), celice so angularne. V predpisanem kvadrantu so 1 do 3 celice (najkrajši premer 3.5 do 14 μm , najdaljši 2.5 do 10 μm). Najgloblja plast je pseudoparenhimatska in spominja na epidermoidno strukturo. Celice so manjše kot celice srednje plasti. V kvadrantu je 5 do 10 celic (najkrajši premer celic znaša 1.5 do 4 μm , najdaljši premer pa 2.5 do 10 μm).

Ektomikorizni tip H94 se je pojavljal pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve iz Mislinjskega grabna in s ploskve iz Zavodenj. Uvrstili smo ga v širšo skupino "črnih tipov". Ta skupina se je pojavljala v 62.4 % pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve iz Mislinjskega grabna in v 35.8 % pri semenkah, ki so rastle na substratu iz Zavodenj.

Glede na opis je tip H94 nekje med tipom ektomikorize *Piceirhiza nigra* in tipom ektomikorize *Cenoccocum geophilum*, uvrstili smo ga v širšo skupino *Cenoccocum geophilum s. latiss.*

3.2 DELEŽI TIPOV EKTOMIKORIZE IN DELEŽ MIKORIZNIH KRATKIH KORENIN

PERCENTAGE OF TYPES OF ECTOMYCORRHIZAE AND OF MYCORRHIZAL SHORT ROOTS

Preglednica 1: Povprečni deleži tipov ektomikorize, ki so se pojavljali na kratkih koreninah semenk, ki so rastle na substratu s ploskve 2 in ploskve 5 iz Mislinjskega grabna in s ploskve 4 in ploskve 5 iz Zavodnje (marec - junij 1993) in delež mikoriznih kratkih korenin. Poleg povprečnega deleža mikoriznih kratkih korenin so navedene tudi standardne deviacije, v oklepaju pa minimalne in maksimalne vrednosti

Table 1: The average percentage of types of ectomycorrhizae on short roots of spruce seedlings, grown on soil substrates from the forest research plot 2 and 5 from Mislinjski graben and from plots 4 and 5 from Zavodnje (growth period March to June 1993) and the percentage of mycorrhizal short roots. Standard deviations and minimum and maximum values are added in brackets.

Ploskev	Ektom. tip A93 (%)	Ektom. tip B93 (%)	Ektom. tip C93 (%)	Ektom. tip D93 (%)	% mikor. kr. korenin
Mislinjski graben pl.2	4.6	29.6	40.8	0	97 ± 2.9 (85, 100)
Mislinjski graben pl. 5	0	47.6	5.3	47.1	93.4 ± 7.3 (67.4, 99.2)
Zavodnje pl.4	16.7	66.0	17.0	0.3	89.4 ± 7.8 (75.4, 100)
Zavodnje pl. 5	4.2	70.8	0	25	79.2 ± 24.5 (0, 100)

Preglednica 2: Povprečni deleži tipov ektomikorize, ki so se pojavljali na kratkih koreninah semenk, ki so rastle na substratu s ploskve 5 iz Mislinjskega grabna in s ploskve 5 iz Zavodnje (februar - junij 1994) in delež mikoriznih kratkih korenin. Poleg povprečnega deleža mikoriznih kratkih korenin so navedene tudi standardne deviacije, v oklepaju pa minimalne in maksimalne vrednosti.

Table 2: The average percentage of types of ectomycorrhizae on short roots of spruce seedlings, grown on soil substrates from the forest research plot 5 from Mislinjski graben and from plot 5 from Zavodnje (February to June 1994) and the percentage of mycorrhizal short roots. Standard deviations and minimum and maximum values are added in brackets.

Ploskev	Ektom. tip E94 (%)	Ektom. tip F94 (%)	Ektom. tip G94 (%)	Črni tipi ekt. (C.g. + H94) (%)	% mikor. kr. korenin
Mislinjski graben pl. 5	35.4	0	2.2	62.4	81.9 ± 13.4 (40.4, 98.2)
Zavodnje pl. 5	0	44.2	0	35.8	± 27.4 (28.3, 99.6)

4 RAZPRAVA DISCUSSION

V naši raziskavi smo določili omejeno število tipov ektomikorize. Največkrat so se pojavljali trije, redkeje štirje tipi na kratkih koreninah semenk z določene ploskve (Preglednici 1, 2). V številu tipov ektomikorize ni bilo razlik med semenkami, ki so rastle na bolj oziroma manj onesnaženih substratih. Razlikoval pa se je mikorizni potencial tal.

Zavodnje: V prvi seriji analiz smo določili štiri tipe ektomikorize, katerih opisi ustrezajo naslednjim: *Piceirhiza horti - atrata* (tip ektomikorize A93), *Piceirhiza guttata* (tip B93), *Piceirhiza horti - inflata* (tip ektomikorize D93). Tip ektomikorize C93 je verjetno doslej še neopisan tip in se pojavlja le pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve 4 iz Zavodnjah. Ostali trije tipi ektomikorize se pojavljajo na vseh ploskvah.

V drugi seriji analiz se pojavljajo povsem drugi tipi ektomikorize: tip ektomikorize F94, H94 in *Cenococcum geophilum*.

Mislinjski graben: Tudi pri semenkah, ki so rastle v substratu s ploskve Mislinjski graben 5 in Mislinjski graben 2 smo v prvi seriji analiz identificirali tipe ektomikorize, ki se pojavljajo tudi na ploskvah v Zavodnjah. V drugi seriji analiz so se pojavili povsem drugi tipi ektomikorize: tip E94, G94 in črna skupina tipov ektomikorize (*Cenococcum geophilum* in H94).

Menimo, da je tip *Piceirhiza horti - atrata* (tip ektomikorize A93) (Preglednica 1) značilen tip ektomikorize, ki se pojavlja že pri nekaj mesecev starih semenkah smreke. Te ugotovitve se skladajo tudi z analizo mikoriznega potenciala tal ploskve 5 iz Zavodnjah, kjer smo na kratkih koreninah šest mesečnih semenk ravno tako identificirali ta tip ektomikorize (KRAIGHER 1990). Poleg tega je bil opisan tudi na štiri leta starih potaknjencih smreke, ki so rastle v drevesnicah (WEISS / AGERER 1988). Slednji so opisali tudi tip *Piceirhiza horti - inflata*, ki smo ga ravno tako določili v naši raziskavi (Preglednica 1) in za katerega tudi domnevamo, da spada k skupini, ki se pojavlja zelo zgodaj pri vzpostavitvi mikorizne simbioze. V prvi seriji analiz se je z največjim odstotkom pojavljal tip ektomikorize *Piceirhiza guttata* (z drugim imenom *Tylospora fibrillosa*), in sicer na kratkih koreninah semenk, ki so rastle na substratu z vseh ploskev. Ravno tako se je množično pojavljal na šestmesečnih semenkah, ki smo jih analizirali v letu 1992 v vplivnem območju Termoelektrarne Šoštanj na ploskvah v Lazah in Velikem vrhu (AL SAYEGH PETKOVŠEK / KRAIGHER / BATIČ 1992). Plašč je bil pogostokrat značilno tenak. Tip *Piceirhiza guttata* smo identificirali tudi v talnem

vzorcu z raziskovalnih ploskev s Pokljuke in sklepamo, da se pojavlja tudi pri starejših drevesih (KRAIGHER *et al.* 1998). V zvezi s tem je potrebno tudi poudariti, da nekateri avtorji ugotavljajo, da lahko tudi glive, ki imajo velike zahteve po asimilatih, inficirajo semenke. V tem primeru njihove povečane potrebe po asimilatih zadovolji starejše drevo, ki je prek mikorizne mreže povezano s semenkami (BLASIUS / OBERWINKLER 1989).

V drugi seriji analiz smo opisali spet tri tipe ektomikorize (Preglednica 2). V tej seriji so bili na obeh substratih skupni le »črni tipi«, preostali pa so se pojavljali le pri substratu iz Zavodnej (tip F94) oziroma pri semenkah, ki so rastle na substratu iz Mislinjskega grabna (tip E94 in tip G94). V skupini črnih tipov sta vsaj dva tipa ektomikorize, ki se makroskopsko ne ločujeta, po drugih značilnostih pa je jasno, da sta dva različna tipa (AL SAYEGH PETKOVŠEK 1996) oziroma, da spadata v širšo skupino *C.g.* (AGERER, ustni vir). Ponavadi so črne tipe, ki so se pojavljali na kratkih koreninah smreke, povezovali s tipom ektomikorize *Cenococum geophilum*, za ta tip pa domnevajo, da je zaradi debelejšega hifnega plašča odpornejši na onesnaževanje (KOWALSKI *et al.* 1987). Vendar pa se je tokrat skupina črnih tipov ektomikorize pogosteje pojavljala pri semenkah, ki so rastle na substratu z Mislinjskega grabna in teh tipov ne povezujemo z onesnaženimi območji. Ta trditev se sklada tudi z rezultati Kropačka (1989), ki ravno tako ni našel korelacije med pojavljanjem črnih tipov in onesnaženimi ploskvami in z rezultati mikobioindikacije onesnaženosti gozdnih rastišč (KRAIGHER 1997). Ugotovljeno je bilo, da se tip *Cenococum geophilum* pojavlja na obeh ploskvah (Mislinjski graben, Zavodnje), vendar v večjem odstotku na ploskvi v Mislinjskem grabnu (KRAIGHER 1997).

Delež mikoriznih kratkih korenin je bil v naši raziskavi vedno večji pri semenkah, ki so rastle na substratu z manj onesnaženega območja. To se je izkazalo tako v prvi seriji analiz (leto 1993) kot tudi naslednje leto (1994), ko smo celotno analizo ponovili, vendar je bila v prvi seriji ta razlika mnogo večja (AL SAYEGH PETKOVŠEK 1997).

Zelo zanimiva je primerjava števila in biološke raznovrstnosti tipov, ki so se pojavili na kratkih koreninah približno šestmesečnih semenk smreke in tipov ektomikorize, ki so jih identificirali v talnih vzorcih istih ploskev v istem obdobju (1993). Na raziskovalni ploskvi 5 v Zavodnjah je bilo identificiranih 17, na ploskvi 5 iz Mislinjskega grabna pa 24 tipov ektomikorize. Skupnih tipov, ki bi se pojavljali v vzorcih iz sestojev in v lončnih poskusih praktično ni bilo. Edini izjemi sta tip *Piceirhiza horti - atrata* in *Cenococum geophilum*. Glede na sorodne raziskave mikorize pri semenkah smreke (WEISS / AGERER 1987) smo sklepali, da so tipi, ki smo jih identificirali med našo raziskavo, tipi

ektomikorize, značilni za nekaj mesecev stare semenke smreke oziroma nekaj let stare smreke. Naša raziskava se morda ujema s trditvijo LAST-a in sod. (1987), ki trdijo, da različne vrste gliv kolonizirajo različno stare gostiteljske rastline. Pojav povsem drugih tipov ektomikorize na kratkih koreninah semenk lahko razložimo s konceptom mikorizne sukcesije. Razvojna faza gozda značilno vpliva na mikorizno floro, kar se kaže tudi v najnovejših raziskavah (KRAIGHER *et al.* 1998). V gozdovih, ki rastejo na območjih, kjer mnogo let ni bilo dreves in je zato zelo malo opada, se pojavijo »glive zgodnje faze.« To so glive, ki so v simbiozi z mladimi drevesi (za iglavce so značilne: *Thelephora terrestris*, *Hebeloma sp.*, *Laccaria sp.*, *Inocybe sp.* (TRAPPE / STRAND 1969; CHU-CHOU 1979; CHU-CHOU / GRACE 1981, 1983; vsi cit. v DIGHTON / MASON 1985). Te glive imajo manjše zahteve po asimilatih, specifičnost med gostiteljem in glivo je majhna, tvorijo manjše trosnjake, hkrati pa micelij zelo hitro raste (DIGHTON / MASON 1985). S staranjem dreves se spremenijo dominantne vrste, hkrati se poveča tudi diverzitetna vrst. Število mikoriznih gliv se je od 3 vrst, ki so v simbiozi s triletnimi sadikami brez (*Betula pendula* in *Betula pubescens*) povečalo na skoraj 30 vrst pri deset let starih brezah (MASON *et al.* 1982 cit. v DIGHTON / MASON 1985). Te glive (če naštejemo nekatere: *Lactarius sp.*, *Cortinarius sp.*, *Russula sp.*, *Amanita sp.*) najdemo v simbiozi s starejšimi drevesi. Sčasoma v starejših gozdovih plast krošenj prepreči dostop neposredne svetlobe, podrasti je čedalje manj, spremenijo se temperaturne in vlažnostne razmere v tleh, čas dekompozicije se daljša in organski horizonti tal vsebujejo vse več kompleksnih molekul (lignin, polifenoli). Vse bolj pomembna postaja značilnost ektomikoriznih gliv, da sprejemajo organsko vezana hranila iz opada, dejansko glive delujejo kot dekompozitorji in tako lahko drevesa neposredno dobijo hranila iz opada (LINDHAL *et al.* 1997).

V naši raziskavi je šlo za 4 - 6 mesecev stare semenke smreke, ki imajo razmeroma malo zelenih (nadzemnih) delov, zato so bile vrednosti netofotosinteze majhne (AL SAYEGH PETKOVŠEK 1996). Ustrezno so bile takšne tudi količine asimilatov, zato ni presenetljivo, da smo na koreninah teh semenk identificirali manjše število tipov ektomikorize, ki so domnevno sodili v »glive zgodnje faze«.

Zaključimo torej lahko, da se pri vzpostavitvi mikorizne simbioze pri semenkah najprej pojavijo določeni tipi ektomikorize, ki bi jih morda lahko uvrstili v skupino gliv »zgodnje faze«. Doslej opravljene raziskave bi bilo v prihodnosti potrebno dopolniti s podrobnejšimi opisi tipov ektomikorize in jih karakterizirati z molekularnimi metodami.

5 VIRI REFERENCES

- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S. / KRAIGHER, H. / BATIČ, F., 1992. Mycorrhizal potential of two forest research plots in the immission area of Thermoenergetic Power Plant Šoštanj (North Slovenia). - XI Congress of European Mycologists at Kew, England 7 - 11 September 1992, s. 38.
- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S., 1996. Vpliv onesnaževanja in nekaterih rastiščnih dejavnikov na mikorizne sadike smreke. - Magistrsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, 107 s.
- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S., 1997. Mikorizni potencial dveh različno onesnaženih gozdnih rastišč v imisijskem območju termoelektrarne Šoštanj. - Zbornik gozdarstva in lesarstva, 52, 1997, s. 323 - 350
- AGERER, R., 1987 - 1998. Colour Atlas of Ectomycorrhizae. - Einhorn-Verlag, München.
- ARNOLDS, E., 1991. Decline of ectomycorrhizal fungi in Europe. - Agriculture, Ecosystems and Environment, 35, s. 209 - 244.
- BLASIUS, D. / OBERWINKLER, F., 1989. Succession of mycorrhizae: A matter of tree age or stand age? - Ann. Sci. For. (1989) 46 suppl., 785 s - 761 s, Eds. Dreyer *et al.* Forest Tree Physiology, Elsevier / INRA.
- ČOKL, M., 1980. Gozdarski in lesnoindustrijski priručnik. - Tablice (peta izdaja). BF Ljubljana, VTOZD za gozdarstvo, 374 s.
- DIGHTON, J. / MASON, P. A., 1985. Mycorrhizal dynamics during forest tree development. - In: Development Biology of Higher Fungi, pp. 117 - 139. Eds D. Moore, L. A. Casselton, D. A. Wood and J. C. Frankland. Cambridge University Press, 1985.
- GRONBACH, E., 1988. Charakterisierung und Identifizierung von Ektomykorrhizen in einem Fichtenbestand mit Untersuchungen zur Merkmalsvariabilität in saurer berechneten Flächen. - Bibliotheca Mycologica, Bd. 125, 216 s.
- KOWALSKI, S., 1987. Mycotrophy of trees in converted stands remaining under strong pressure of industrial pollution. - Angew. Bot. 61, s. 65 - 83.
- KRAIGHER, H., 1990. Raziskave mikorize pri smreki v različno onesnaženih okoljih. - Raziskovalna naloga. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo pri Biotehniški fakulteti v Ljubljani. 55 s.
- KRAIGHER, H. / BATIČ, F. / AGERER, R., 1996. Types of ectomycorrhizae and mycobioidication of forest site polluton. - Phytion (Horn, Austria) 36 (3) 115 - 120.
- KRAIGHER, H., 1997. Mikobioidikacija onesnaženosti dveh gozdnih rastišč. - Zbornik gozdarstva in lesarstva, 52, 1997, s. 279 - 322
- KRAIGHER, H. / TROŠT, T. / VILHAR, U., 1998. Diversity of ectomycorrhizae in alpine and montane Norway spruce forest in Slovenia.- V: ICOM 2, 5 - 10 julij 1998 Uppsala Švedska, Programme and Abstracts, SLU Uppsala, s. 101.
- KROPAČEK, K. / KRISTINOVA, M. / CHEMELIKOVA, E. / CUDLIN, P., 1988. The mycorrhizal inoculation potential of forest soils exposed to different polutions stress. - Agriculture, Ecosystems and Environment, 28, 1989, s. 271 - 277.
- LAST, F.T. / DIGHTON, J. / MASON, P. A., 1987. Successions of Sheathing Mycorrhizal Fungi. - Tree, 2, s. 157 - 161.
- LINDHAL, B. / STENLID, J. / OLLSON, S. / FINLAY, R., 1998. - V: ICOM 2, 5 - 10 julij 1998 Uppsala Švedska, Programme and Abstracts, SLU Uppsala, s. 109.

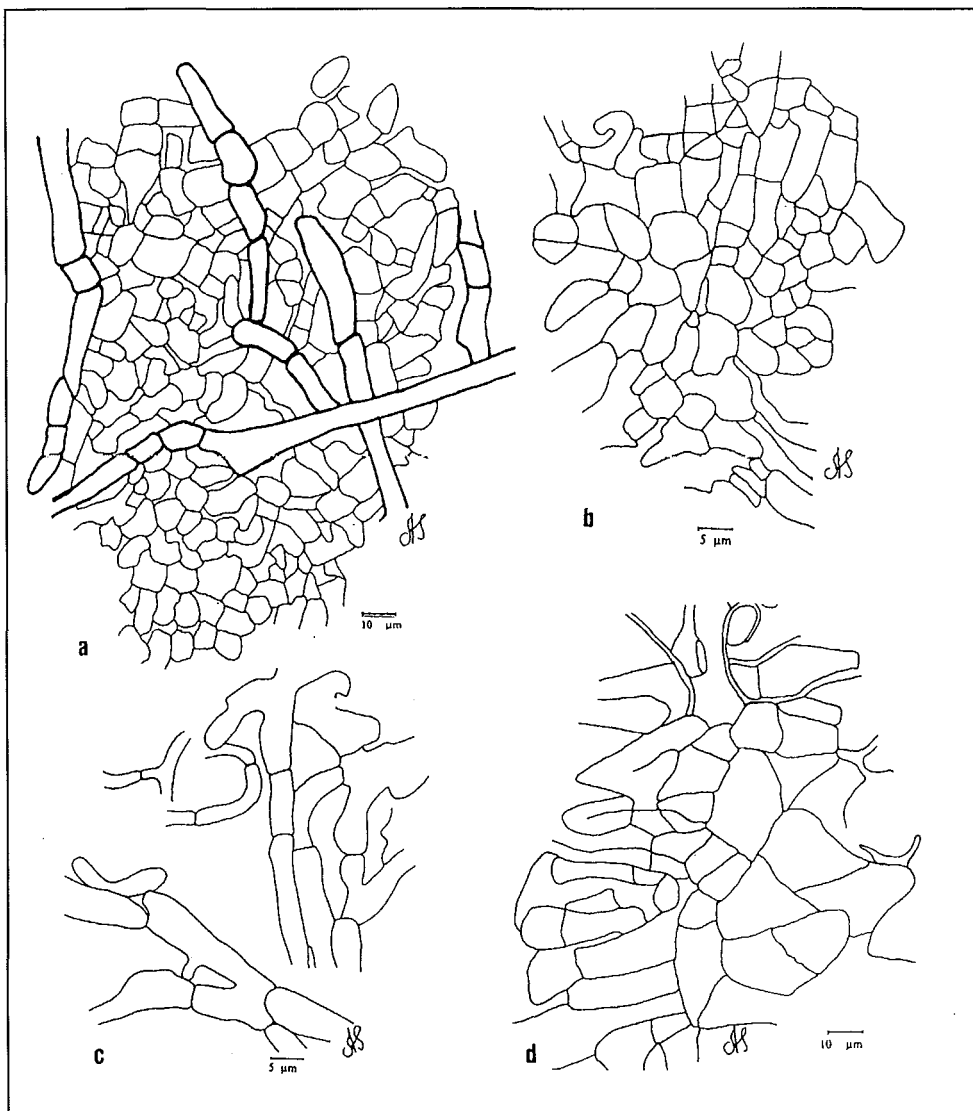
- MEJSTRIK, V., 1989. Ectomycorrhizae and forest decline. - *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 28, 1989, s. 325 - 337.
- PFANZ, H. / WEIKERT, R. / HEBER, U. / LANGE, O. L., 1989. Photosynthesis of damaged and undamaged forest trees.: A study with spruce in the Fichtelgebirge.- *International Congress of Forest Decline Research: State of Knowledge and Perspectives*, 2 - 6 Oktober, 1989, s. 527 - 550.
- TREU, R., 1990. Charakterisierung und Identifizierung von Ektomykorrhizen aus dem National Park Berchtesgaden. - *Bibliotheca Mycologica*, Bd. 134, 169 s.
- WEISS, M. / AGERER, R., 1987. Studien an Ektomykorrhizen XII. - Drei nichtidentifizierte Mykorrhizen an *Picea Abies* (L.) Karst. aus einer Baumschule. - *Eur. J. For. Path.*, 18, s. 26 - 43.
- WEISS, M., 1988. Ektomykorrhizen von *Picea abies* Synthese, Ontogenie und Reaktion auf Umweltschadstoffe. - *Diss. Dokt., Fachb. Biologie, Ludwig - Maximilians - Universität München*, 141 s.

ZAHVALA ACKNOWLEDGEMENTS

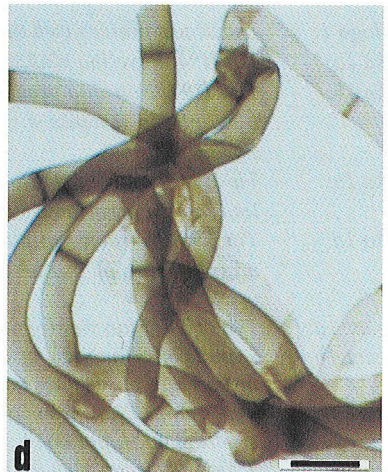
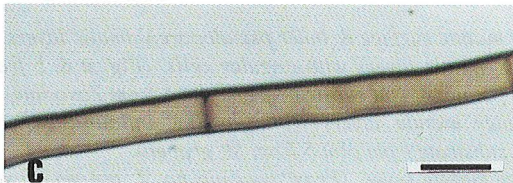
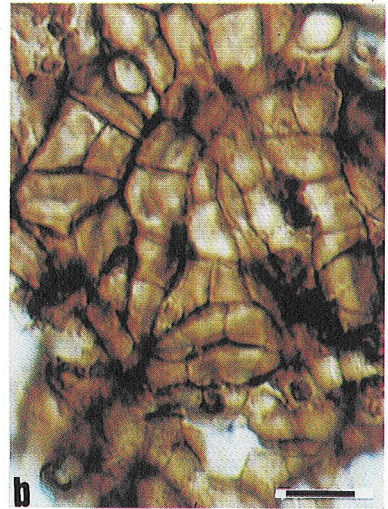
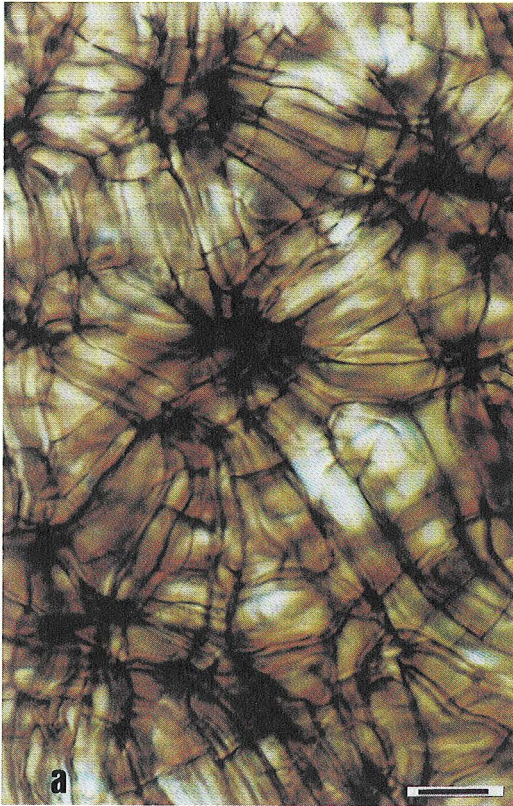
Zahvaljujemo se prof. dr. R. Agererju iz Inštituta za sistematsko botaniko LMU, München, za strokovno pomoč pri identifikaciji tipov ektomikorize, še posebej pa prof. dr. Nadi Gogala, prof. dr. Francu Batiču in prof. dr. Andreju Martinčiču za študijsko mentorstvo in recenzijo magistrske naloge Samar Al Sayegh Petkovšek, v okviru katere so bile opravljene raziskave tipov ektomikorize na kratkih koreninah semenk smreke.

Del raziskav, ki jih omenjamo v prispevku, je bil izveden v okviru projektov: L4 - 7402, ki ga sofinancirata Ministrstvo za znanost in tehnologijo in Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS; ter J4 - 8581, ki ga financira Ministrstvo za znanost in tehnologijo RS.

PRILOGA
APPENDIX



- Priloga 1: Značilnost plaščev treh tipov ektomikorize.
- Slika 1a: Tip **H94**. Površina plašča, vidijo se tudi notranje pseudoparenhimatske plasti.
- Slika 1b: Tip **H94**. Notranja pseudoparenhimatska plast z angularnimi celicami. (Sliki a in b sta plašča semenke 4 iz lončka 4, semenska je rasla na substratu s ploskve 5 iz Zavodnj.)
- Slika 1c: Tip **E94**. Površina plašča z globularnimi inflacijami. (Preparat plašča semenke 4 iz lončka 4, ki je rasla na substratu s ploskve 5 iz *M. grabna*).
- Slika 1d: Tip **C93**. Notranji sloj plašča. (Preparat plašča semenke 2 iz lončka 2, ki je rasla na substratu s pl. 5 iz *M. grabna*.) Vsi preparati so v mlečni kislini.
- Figure 1a: Type **H94**. Plan view of outer mantle surface & inner pseudoparenhimatic layers.
- Figure 1b: Type **H94**. Plan view of inner mantle layers with angular cells. (Fig. a & b from mycorrhiza of seedling no. 4, pot no. 4, soil substrate from plot 5 from Zavodnje)
- Figure 1c: Type **E94**. Plan view of outer mantle layers with globular inflations. (From seedling no. 4, pot no. 4, soil substrate from plot 5 from *M. graben*).
- Figure d: Type **C93**. Plan view of inner mantle layer. (From seedling no. 2, pot no. 2, soil substrate from plot 5 from Mislinjski graben). All preparations are in lactic acid.



Priloga 2: Tip ektomikorize C93.

Slika 2a: Zunanja plektenhimatska plast plašča z zvezdastim vzorcem.

Slika 2b: Notranja pseudoparenhimatska plast plašča.

Slika 2c in d: Izhajajoče hife. Preparati za sliki 2a in 2b so iz mikorize semenke 3 iz lončka 2, talni substrat je s ploskve 2, preparati za sliki 2c in 2d so iz mikoriznih sadik smreke, ki so rastle na substratu s ploskve 5 iz M. grabna. Vsi preparati so v mlečni kislini, slikani v NIC in v svetlem polju; oznaka predstavlja 10 μm .

Figure 2a: Outer stellate plectenchimatous mantle layer.

Figure 2b: Inner pseudoparenhimatic mantle layer.

Figures c & d: Emanating hyphae. Preparations for fig. 2a & 2b are from mycorrhizae of seedling no. 3 from pot no. 3, soil substrate originating from lot 2, preparations for fig. 2c & 2d are from mycorrhizae of the seedlings, grown on soil substrates from the plot 5 from M. graben. All preparations are in lactic acid, in NIC and bright field, the bar represents 10 μm .

