

VLIV ŽIVIN V PŮDĚ NA ÚSPĚŠNOST UMĚLÉ INOKULACE EKTOMYKORHIZNÍMI HOUBAMI U SAZENIC DUBU LETNÍHO (*QUERCUS ROBUR* L.)

IMPACT OF SOIL NUTRIENTS ON SUCCESS OF ARTIFICIAL MYCORRHIZAL INOCULATION OF PEDUNCULATE OAK SEEDLINGS (*QUERCUS ROBUR* L.)

FRANTIŠEK LORENC ✉ - RADEK NOVOTNÝ

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady 136, 252 02 Jíloviště-Strnady, Czech Republic

✉ e-mail: lorenc@vulhm.cz

ABSTRACT

This study evaluates the influence of artificial ectomycorrhizal inoculation on the growth of pedunculate oak (*Quercus robur*) seedlings in relation to the soil nutrient content. 1.5 years after planting, 30 inoculated seedlings and 30 control seedlings were sampled. The sampled seedlings' growth and mycorrhizal characteristics were evaluated. Mixed soil samples were taken from both plots (inoculated × control) for determination of pH values and the content of biogenic, trace and selected metal elements. Inoculated seedlings showed a statistically significant lower density of active and nonactive mycorrhizae and proportion of active mycorrhizae. The differences in a height of aboveground parts, root collar diameter and weight of aboveground matter of the seedlings were not statistically significant. Experimental plots differed in a nutrient concentration in the soil, especially concentration of available phosphorus on treated plots were higher in comparison with control plots (557% compared to the control). Therefore, a failure of the inoculation in this study could be caused just by a higher content of available phosphorus in the soil in the area with inoculated seedlings.

For more information see Summary at the end of the article.

Klíčová slova: ektomykorhiza; fosfor; inokulace; kořeny; mykorhizní symbióza; pěstování lesa; živiny

Key words: ectomycorrhiza; phosphorus; inoculation; roots; mycorrhizal symbiosis; silviculture; nutrients

ÚVOD

Umělé očkování (inokulace) mykorhizními houbami představuje metodu na podporu růstu rostlin, využívající princip mykorhizní symbiózy. Mykorhizní symbióza je vzájemně prospěšné soužití rostlinných a houbových organismů, při němž vznikají na kořenech rostlin útvary nazývané mykorhizy, vyznačující se fyziologickou aktivitou obou zúčastněných složek (PEŠKOVÁ, SOUKUP 2006). V případě ektomykorhizní symbiózy, známé téměř výhradně u dřevin (včetně dubu letního), je houbou kolonizovaný úsek kořene (mykorhiza, mykorhizní špička) často zduřelý, tedy tvarem výrazně odlišný od nekolonizovaných kořenů (GRYNDLER et al. 2004). Houbová vlákna (hyfy) ektomykorhizních hub zpravidla vytvářejí v mezibuněčných prostorech hostitelské dřeviny tzv. Hartigovu síť a na povrchu kolonizovaného kořene tzv. hyfový plášť, z něhož hyfy prorůstají do půdního substrátu (PETERSON et al. 2004).

Umělá inokulace mykorhizními houbami má pozitivní vliv na ujímavost i růst rostlin a vede ke zvýšení odolnosti vůči různým abiotickým

vlivům a biotickým škodlivým činitelům (GRYNDLER et al. 2004; PEŠKOVÁ, TUMA 2010). V lesnictví nachází inokulace mykorhizními houbami uplatnění zejména ve školkách, kde může představovat alternativu k běžným hnojivům (SOUSA et al. 2012). Pro úspěšnou inokulaci je třeba, aby použité ektomykorhizní houby byly schopné snadno a rychle vytvořit s hostitelskou rostlinou ektomykorhizy, byly přizpůsobené stanovištním podmínkám a odolné vůči stresům. Pro určitý druh dřeviny neexistuje univerzální optimální symbiont (MEJSTŘÍK 1988).

Pozitivní vliv umělé inokulace mykorhizními houbami na dřeviny je výrazný především v nepříznivých podmínkách, např. při stresu suchem (GARBYE, CHURIN 1997; ORTEGA et al. 2004; PEŠKOVÁ, TUMA 2010). Aplikace ektomykorhizního inokula vede zřídka k inhibici růstu rostlin. K prokazatelné stimulaci růstu však v mnoha případech nemusí vůbec dojít (CASTELLANO 1996; HOLUŠA et al. 2015) a vliv umělé inokulace může být i při použití stejného přípravku na stejném dřevině rozdílný (HOLUŠA et al. 2009; PEŠKOVÁ, TUMA 2010; REPÁČ et al. 2011). Vysoké koncentrace některých minerálních živin v půdě,

především dusíku a fosforu, mohou být pro mykorrhizy škodlivé a vést k významnému snížení kolonizace kořenů dřevin (MARX et al. 1977; NEWTON, PIGOTT 1991).

Cílem naší studie bylo porovnat vliv umělé inokulace ektomykorrhizními houbami na růst sazenic dubu letního (*Quercus robur* L.) a posoudit, jak úspěšnost inokulace ovlivňuje půdní podmínky.

MATERIÁL A METODIKA

Vliv mykorrhizního přípravku Ectovit od dodavatele Bioteck CZ s.r.o. (Česká republika) na sazenice dubu letního byl testován na 2 výzkumných plochách, nacházejících se ve smíšených lesních porostech s listnatými dřevinami poblíž obce Košťany (Krušné hory, Česká republika). U obou ploch byla půdním typem antropozem haldová (CENIA 2010–2018), ekologická řada glejová (PLÍVA 1987). Vzdálenost mezi plochami činila přibližně 1 km. Obě plochy byly z důvodu ochrany proti zvěři oplocené.

Na jaře 2016 byly na obou výzkumných plochách vysázeny sazenice dubu letního. Na jedné z ploch byl na kořeny sazenic těsně před vysazením aplikován namáčením přípravek Ectovit obsahující tekuté izoláty a spory ektomykorrhizních hub, fixační gelový prášek z mořských řas a látky podporující tvorbu ektomykorrhizních hub. Na druhé ploše sazenice ošetřené nebyly (kontrola).

8. 11. 2017 bylo z výzkumných ploch odebráno 30 sazenic ošetřených mykorrhizním přípravkem a 30 neošetřených (kontrolních), tedy 60 sazenic celkem. Sazenice byly odebrány v řádcích uprostřed výzkumných ploch (z důvodu eliminace okrajového efektu). Sazenice na obou plochách vykazovaly v době odběru velmi vysokou ujmavost, rozvinutý kořenový systém, velmi dobrý zdravotní stav a absenci napadení chorobami či škůdci. Z důvodu velmi hlubokých kořenů sazenic a kamenů v půdě bylo možné odebrat pouze část kořenové hmoty sazenic.

U odebraných sazenic byla změřena tloušťka kořenového krčku a výška nadzemní části. Poté byla zjištěna hmotnost sušiny nadzemních částí sazenic, vysušených v sušárně při 105 °C.

Kořeny sazenic byly očištěny vodou. Pro hodnocení mykorrhiz byly odebrány pouze kořeny do 1 mm, neboť na těchto kořenech se tvoří nejvíce mykorrhizních špiček a nejcitlivěji reagují na změny podmínek v prostředí (PEŠKOVÁ, SOUKUP 2006). Kořeny byly uloženy do fixačního roztoku 35% ethanolu a průběžně vyhodnocovány. Mykorrhizy na sazenicích byly hodnoceny dle metodiky podrobně popsané v článku PEŠKOVÁ, SOUKUP (2006). U vzorků z každé sazenice byly mykorrhizy hodnoceny na 20 kořenových segmentech o základní délce 5 cm. Délka každého segmentu byla spočítána pomocí milimetrového papíru jako základní délka + délka postranních kořenů. Následně byly na těchto segmentech pod binokulární lupou počítány mykorrhizy (mykorrhizní špičky) a zařazovány do skupin aktivní a neaktivní. K aktivním mykorrhizám byly řazeny špičky hladké, s vysokým turgorem a vyvinutým hyfovým pláštěm. K neaktivním mykorrhizám byly řazeny špičky svrasklé, s velkou ztrátou turgoru a chybějícím hyfovým pláštěm. Poté byla u každého vzorku spočítána hustota aktivních a neaktivních mykorrhiz jako počet aktivních (neaktivních) špiček vydělený délkou kořenových segmentů a podíl aktivních mykorrhiz jako počet aktivních špiček vydělený celkovým počtem špiček (PEŠKOVÁ, SOUKUP 2006).

15. 11. 2018 byly odebrány vzorky půdy z blízkosti kořenů inokulovaných i kontrolních sazenic, z nichž byly promícháním vytvořeny 2 směsné vzorky (inokulace a kontrola). Směsné vzorky půdy byly podrobeny analýzám pro stanovení koncentrace biogenních prvků v půdě (celkové i v přístupné formě) a půdního pH (tab. 1). Analýza vzorků proběhla ve Zkušebních laboratořích VÚLHM podle standardních operačních postupů (SOP) zpracovaných dle příslušných norem

(ČSN/EN/ISO). Měření pH bylo provedeno v suspenzi minerální a organické půdy ve vodě (pH-H₂O), resp. v roztoku chloridu draselného o koncentraci 1 mol/l (pH-KCl). Poměr objemu půdy a suspenzní kapaliny činil 1:5. Koncentrace fosforu v přístupné formě byla zjišťována po vyluhování roztokem slabých kyselin (HCl a H₂SO₄) v poměru 1:5 a poté byl fosfor jako fosforečnanový anion stanoven spektrofotometricky metodou kontinuální průtokové analýzy (tzv. CFA). Celková koncentrace C, N a S byla stanovena na elementárním analyzátoru LECO. Stanovení Fe, Mn, Zn, K, Mg, Na, Al bylo provedeno v extraktu roztokem 1 mol/l NH₄Cl, resp. v extraktu lučavkou královskou metodou plamenové atomové absorpční spektrometrie (AAS). Stanovení celkové koncentrace fosforu bylo provedeno metodou optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP OES). Hodnocení zjištěných koncentrací živin bylo provedeno podle kritérií používaných ve VÚLHM, jak byly publikovány např. v knize ŠRÁMEK et al. (2014).

Statistické vyhodnocení dat bylo provedeno v programu Statistica 10. Pro testování normality dat byl použit Shapiro-Wilk test. Z důvodu narušení normality dat u všech testovaných závislých proměnných byly k testování významnosti rozdílů mezi ošetřenými a neošetřenými sazenicemi použit neparametrický Mann-Whitney U-test.

VÝSLEDKY

Inokulované sazenice se ve srovnání s kontrolními sazenicemi vyznačovaly statisticky významně nižší hustotou aktivních mykorrhiz (0.41 vs. 2.12 cm⁻¹; U: n = 60; p < 0.001; tab. 2; obr. 1), hustotou neaktivních mykorrhiz (0.88 vs. 1.33 cm⁻¹; U: n = 60; p < 0.01; tab. 2; obr. 1) i podílem aktivních mykorrhiz (34 vs. 60 %; U: n = 60; p < 0.001; tab. 2; obr. 1).

Výška nadzemních částí, tloušťka kořenového krčku ani hmotnost sušiny nadzemních částí se mezi inokulovanými a kontrolními sazenicemi významně nelišily, ačkoli byly hodnoty všech těchto proměnných vyšší u inokulovaných sazenic (tab. 2; obr. 1).

Z hlediska živin v půdě se plocha s inokulovanými sazenicemi oproti kontrole (100 %) nejvíce lišila v koncentraci přístupného fosforu (557 %; 7,87 vs. 1,41 mg.kg⁻¹ sušiny; tab. 1), přístupného hořčíku (243 %; 1462,95 vs. 601,23 mg.kg⁻¹ sušiny; tab. 1), celkové koncentrace draslíku (213 %; 6691,72 vs. 3141,37 mg.kg⁻¹ sušiny; tab. 1), přístupné koncentrace zinku (36 %; 2,14 vs. 5,99 mg.kg⁻¹ sušiny; tab. 1) a celkové koncentrace zinku (48 %; 109,13 vs. 225,94 mg.kg⁻¹ sušiny; tab. 1). Rozdíly v koncentraci ostatních prvků mezi plochami s inokulovanými a kontrolními sazenicemi byly statisticky nevýznamné (tab. 1). Půdní reakce (pH_{KCl}) na ploše s inokulovanými a kontrolními sazenicemi se lišila přibližně o 0,5 jednotek pH (4,85 vs. 5,36; tab. 1).

DISKUSE

V naší studii byla zaznamenána statisticky významně nižší hustota aktivních i neaktivních mykorrhiz a procentuální podíl aktivních mykorrhiz u inokulovaných sazenic oproti kontrolním, což je neobvyklý výsledek. V přechodných studiích byl vliv umělé mykorrhizace na ektomykorrhizy pozitivní, a to u 2leté výsadby a 9–10letých mladých porostů dubu letního (HOLUŠA et al. 2015) a u sazenic smrku ztepilého v porostu silně napadeném václavkami (HOLUŠA et al. 2009), případně statisticky nevýznamný, a to u smrku ztepilého (PEŠKOVÁ, TUMA 2010). V naší studii byly rozdílné výsledky zřejmě způsobeny rozdílným množstvím živin v půdě, zejména v 557% koncentrací přístupného fosforu na ploše s inokulovanými sazenicemi oproti kontrole.

Z hlediska zajištění dostatečné výživy pro dřeviny hodnotíme koncentraci fosforu v přístupné formě v půdních vzorcích na obou plochách

Tab. 1.

Výsledky chemických analýz vzorků půdy na plochách se sazenicemi dubu letního (*Quercus robur*) ošetřenými mykorrhizním přípravkem (Inokulace) a neošetřenými (Kontrola)
Results of chemical analyses of soil samples on the plots with pedunculate oak seedling (*Quercus robur.*) treated by ectomycorrhizal preparation (Inoculation) and not treated (Control)

Metoda/Method	Proměnná/ Variable	Jednotka/Unit	Hranice deficitu/ Deficit limit	Kontrola/ Control	Inokulace/ Inoculation	Inokulace %/ Inoculation %
	hmotnost sušiny/ dry weight	%		95.11	94.38	
	pH (H ₂ O)			6.29	6.02	
	pH (KCl)			5.36	4.85	
	C _{tot}	mg*100 mg ⁻¹ sušiny/ mg*100 mg ⁻¹ dry weight		7.09	4.00	56
	N _{tot}		0.06	0.44	0.31	70
	S _{tot}	mg*kg ⁻¹ sušiny/ mg*kg ⁻¹ dry weight		530	340	64
	P _{př.}		20	1.41	7.87	557
výluh NH ₄ Cl (přístupné prvky)/ NH ₄ Cl leaching (available elements)	Na			7.34	11.10	151
	K		50	520.52	445.87	86
	Mg		40	601.23	1461.95	243
	Ca	mg*kg ⁻¹ sušiny/ mg*kg ⁻¹ dry weight	350	4091.24	3473.44	85
	Zn			5.99	2.14	36
	Mn			43.61	32.63	75
	Fe			3.37	3.70	85
	Al			<45.20	<45.20	
výluh HNO ₃ +3HCl (celkové prvky)/ HNO ₃ +3HCl leaching (total)	Na			53.47	77.84	146
	K			3141.37	6691.72	213
	Mg	mg*kg ⁻¹ sušiny/ mg*kg ⁻¹ dry weight		2731.99	3473.13	127
	Ca			5140.80	4101.56	80
	Zn			225.94	109.13	48
	P			772.66	767.75	99

Tab. 2

Průměr ± směrodatná odchylka a výsledky Mann–Whitney U–testu hodnocených proměnných. Počet vzorků: 30 kontrola, 30 inokulace
Mean ± standard deviation and results of the Mann–Whitney U–test for assessed variables. Number of samples: 30 control, 30 inoculation

Proměnná/Variable	Jednotka/Unit	Kontrola/Control	Inokulace/Inoculation	U	p
Hustota aktivních mykorrhiz/ Density of active mycorrhizae	cm ⁻¹	2.12 ± 1.26	0.41 ± 0.29	364	***
Hustota neaktivních mykorrhiz/ Density of nonactive mycorrhizae	cm ⁻¹	1.33 ± 0.63	0.88 ± 0.59	339	**
Podíl aktivních mykorrhiz/ Proportion of active mycorrhizae	%	60 ± 13	34 ± 13	362	***
Výška nadzemních částí/ Height of aboveground parts	cm	63.36 ± 14.77	67.43 ± 15.77	21	0.21
Tloušťka kořenového krčku/ Root collar diameter	cm	0.89 ± 0.19	0.95 ± 0.25	248	0.10
Hmotnost nadzemních částí/ Weight of aboveground matter	g	10.90 ± 5.66	13.83 ± 8.74	74	0.20

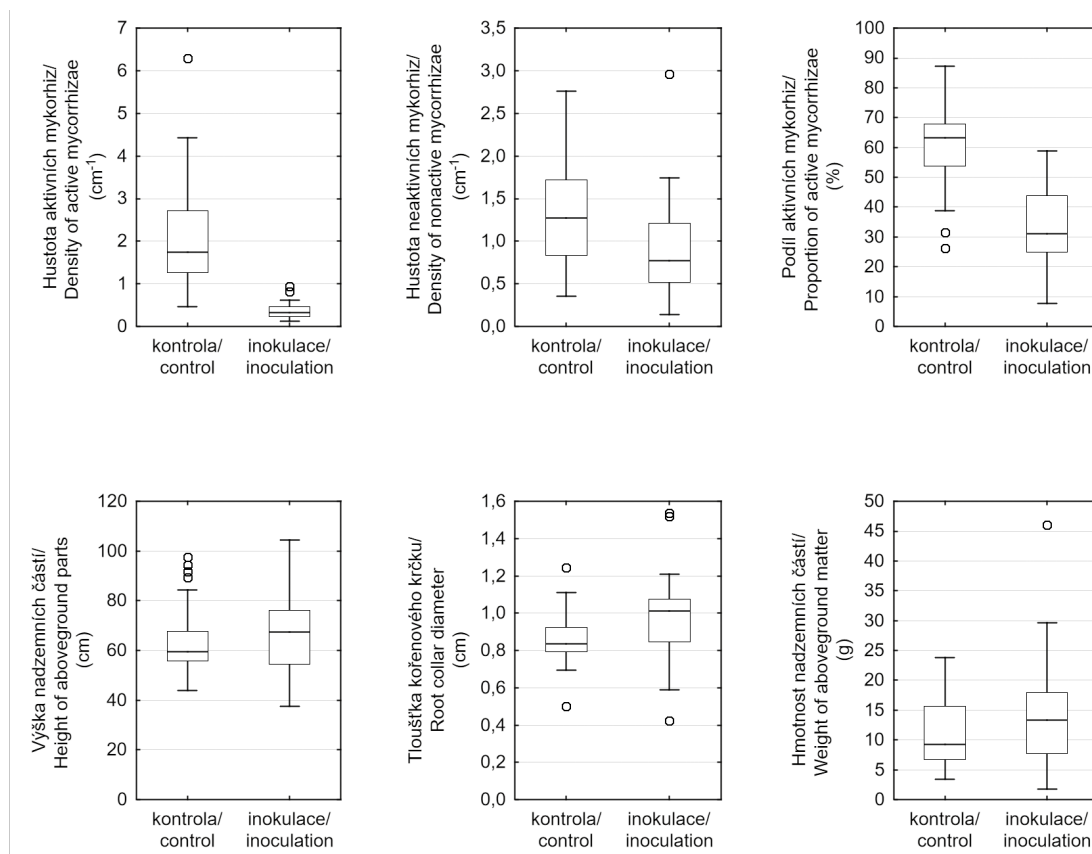
Vysvětlivky/Captions: U – hodnoty Mann–Whitney U–testu/values of Mann–Whitney U–Test; p – hladina významnosti/
significance level: * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001.

jako velmi nízkou. Za hranici nízké koncentrace fosforu je ve VÚLHM používána hodnota 20 mg.kg⁻¹. Hodnoty klesající pod hranici 10 mg P.kg⁻¹ jsou již velmi nízké a mohou vést k poruchám růstu (VITOUSEK et al. 2010). Zjištěné koncentrace u hlavních bazických živin (K, Mg, Ca) v přístupné formě byly na obou plochách dobré až velmi dobré (tab. 1).

Negativní vliv fosforu na mykorhizy byl kromě naší studie zaznamenán i v řadě předchozích publikací. Umělé hnojení fosforem vedlo ke statisticky významně nižší kolonizaci ektomykorhizními houbami u dubu letního, břízy bělokore (*Betula pendula* L.) (NEWTON, PIGOTT 1991), topolu chlupatoplodého (*Populus trichocarpa* Torr. & A. Gray ex Hook), křížence topolu osiky a osikovitého (*P. tremula* x *tremuloides*) (BAUM, MACHESKIN 2000) a u borovice kadidlové (*Pinus taeda* L.) (MARX et al. 1977) a také k nižšímu množství biomasy houbových hřif u blahovičnicku kulatoplodého (*Eucalyptus globulus* Labill.) (PAMPOLINA et al. 2002). Přerušení přísunu fosforu vyvolalo 10násobnou tvorbu mimokořenového mycelia ektomykorhizních hub u sazenic borovice lesní pěstovaných polohydroponicky (WALLANDER, NYLLUND 1992). Vyšší koncentrace fosforu v půdě negativně ovlivňuje také tvorbu arbuskulárních mykorhiz (DAFT, NICOLSON 1969). Z meta-analýz ve studii TRESEDER (2004) vyplývá, že zvýšení kon-

centrace fosforu v půdě vedlo ke snížení hustoty mykorhiz v průměru o 32 %, přičemž odezva byla u arbuskulárních mykorhiz i u ektomykorhiz obdobná. V naší studii bylo 557 % množství fosforu v půdě na ploše s inokulovanými sazenicemi pravděpodobně hlavní příčinou toho, že inokulované sazenice vykazovaly oproti kontrolním sazenicím nižší hustotu aktivních i neaktivních mykorhiz a procentuální podíl aktivních mykorhiz.

Kromě koncentrace přístupného fosforu byly v naší studii zaznamenány rozdíly také v koncentraci dalších živin v půdě. V předchozích studiích byl negativní vliv vyšší koncentrace půdního dusíku i draslíku na kolonizaci ektomykorhizními houbami zaznamenán u dubu letního a břízy bělokore v terénu i v umělých podmínkách (NEWTON, PIGOTT 1991), v případě dusíku také u borovice kadidlové (MARX et al. 1977). V naší studii byl na ploše s inokulovanými sazenicemi oproti kontrole celková koncentrace půdního dusíku 70 %, celková koncentrace půdního draslíku 213 % a koncentrace přístupného draslíku 86 % (tab. 1). Přestože by nižší koncentrace dusíku na inokulované ploše mohly působit příznivě, tento vliv se v naší studii neprojevil kvůli výraznějším rozdílům v koncentraci protichůdně působícího fosforu. Celková koncentrace draslíku by mohla v naší studii působit spolu s fosforem na mykorhizy negativně, ale ekologicky významnější



Obr. 1

Hustota aktivních mykorhiz, hustota neaktivních mykorhiz, podíl aktivních mykorhiz, výška nadzemních částí, tloušťka kořenového krčku a hmotnost nadzemních částí inokulovaných a kontrolních sazenic. Každý sloupec sestává z 30 vzorků. Střední čára – medián, krabice – 1. a 3. kvartil, vousy – rozsah neodlehých hodnot, kolečka – odlehlé hodnoty do 1.5násobného rozsahu neodlehých hodnot

Fig. 1.

Density of active mycorrhizae, density of nonactive mycorrhizae, proportion of active mycorrhizae, height of aboveground parts, root collar diameter and weight of aboveground matter in inoculated and control seedlings. Every column consists of 30 samples. Central band – median, box – 1st and 3rd quartiles, whiskers – non-outlier range, circles – outlier values below 1.5 multiple of non-outlier range

koncentrace v přístupné formě byla naopak mírně nižší. V naší studii byl zaznamenáno také 243 % množství dostupného hořčíku na půdě s inokulovanými sazenicemi oproti kontrole (tab. 1), avšak významný vliv hořčíku na ektomykorhizní houby nebyl jednoznačně prokázán (WALLANDER, NYLLUND 1992). Z výše uvedeného tedy vyplývá, že tvorbu ektomykorhiz u dubu letního ovlivnila především koncentrace přístupného fosforu v půdě.

Výška nadzemních částí, tloušťka kořenového krčku ani hmotnost sušiny nadzemních částí sazenic nebyly v naší studii umělou mykorhizací významně ovlivněny. Při úspěšné mykorhizní inokulaci většinou dochází i ke zlepšení růstových charakteristik dřevin (HOLUŠA et al. 2009, 2015) a rozvoji kořenového systému (HOLUŠA et al. 2009; TUČEKOVÁ et al. 2009). Nicméně vliv umělé mykorhizní inokulace na růst dřevin nemusí být vzhledem k rozdílným půdním a klimatickým podmínkám (PEŠKOVÁ 2000; PEŠKOVÁ, TUMA 2010; HOLUŠA et al. 2015) vždy pozitivní (PEŠKOVÁ, TUMA 2010; REPÁČ et al. 2011; HOLUŠA et al. 2015), a to ani v případě statisticky významného pozitivního vlivu na mykorhizy (HOLUŠA et al. 2015). V naší studii umělé mykorhizní inokulace nevedla k rozvoji ektomykorhiz, a tudíž nebyly sledované růstové charakteristiky významně ovlivněny. BROWNING, WHITNEY (1992) zjistili, že inokulace lakovkou dvoubarevnou (*Laccaria bicolor* [Maire] Orton) u sazenic borovice Banksovy (*Pinus banksiana* Lamb.) a smrku černého (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) vedla ke statisticky významně vyšší výšce nadzemních částí sazenic i celkové hmotnosti sušiny, ale pouze při aplikaci nižšího množství fosforu (1,5 mg na sazenici za týden). Zvýšení množství fosforu na 7,2 na sazenici za týden vedlo u obou dřevin k významnému snížení tvorby ektomykorhiz (BROWNING, WHITNEY 1992). Vyšší koncentrace fosforu v půdě tedy zabraňuje rozvoji ektomykorhiz a znemožňuje úspěšnou inokulaci.

ZÁVĚR

Z naší studie vyplývá, že vyšší koncentrace přístupného fosforu v půdě působí na rozvoj ektomykorhiz negativně, což může vést k neúspěchu umělé inokulace. V těchto případech může být takováto inokulace zcela zbytečná. Doporučujeme tedy umělou inokulaci ektomykorhizními houbami využívat spíše na stanovištích s nepříznivými podmínkami (nedostatek vody a živin, silný infekční tlak patogenních organismů, půdy, u kterých došlo ke změně způsobu využití apod.). Při využití umělé ektomykorhizní inokulace také doporučujeme vyhnout se aplikaci hnojiv s vysokými koncentracemi fosforu.

Poděkování:

Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE – RO0118. Autoři děkují také Ing. Alešovi Kilbovi a Ing. Pavlu Hajdukovi (Lesy České republiky, s. p., Lesní správa Litvínov) za zajištění terénních prací, součinnost při odběru sazenic a poskytnutí potřebných podkladů.

LITERATURA

- BAUM C, MAKESCHIN F. 2000. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on mycorrhizal formation of two poplar clones (*Populus trichocarpa* and *P-tremula x tremuloides*). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163 (5): 491–497. DOI: 10.1002/1522-2624(200010)163:5<491::AID-JPLN491>3.0.CO;2-3
- BROWNING M.H.R., WHITNEY R.D. 1992. The influence of phosphorus concentration and frequency of fertilization on ectomycorrhizal development in containerized black spruce and jack pine seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, 22 (9): 1263–1270. DOI: 10.1139/x92-168
- CASTELLANO M.A. 1996. Outplanting performance of mycorrhizal inoculated seedlings. In: Mukerji K.G. (ed.): *Concepts in mycorrhizal research*. Dordrecht, Kluwer: 223–301.
- CENIA 2010–2018. Národní geoportál INSPIRE [online]. CENIA, česká informační agentura životního prostředí. [cit. 2018-05-18]. Dostupné na/Available on: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/home;jsessionid=3533A0A21202CBECB773840607898B24>
- DAFT M.J., NICOLSON T.H. 1969. Effect of endogone mycorrhiza on plant growth. II. Influence of soluble phosphate on endophyte and host in maize. *New Phytologist*, 68: 945. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1969.tb06494.x
- GARBAYE J., CHURIN J.-L. 1997. Growth stimulation of young oak plantations inoculated with the ectomycorrhizal fungus *Paxillus involutus* with special reference to summer drought. *Forest Ecology and Management*, 98: 221–228. DOI: 10.1016/S0378-1127(97)00105-9
- GRYNDLER M., BALÁŽ M., HRŠELOVÁ H., JANSÁ J., VOSÁTKO M. 2004. Mykorhizní symbióza, o soužití hub s kořeny rostlin. Praha, Academia: 366 s.
- HOLUŠA J., PEŠKOVÁ V., VOSTRÁ M., PERNEK M. 2009. Impact of mycorrhizal inoculation on spruce seedling: comparison of 5-year experiment in forests infested by honey fungus. *Periodicum Biologorum*, 111: 413–417. DOI: 10.18054/pb.2015.117.4.3839
- HOLUŠA J., PEŠKOVÁ V., LORENC F. 2015. The impact of artificial mycorrhizal inoculation on the growth of common oak seedlings and development of mycorrhiza: Inoculation may not positively affect growth of seedlings. *Periodicum Biologorum*, 117: 519–526. DOI: 10.18054/pb.2015.117.4.3839
- MARX D.H., HATCH A.B., MENDICINO J.F. 1977. High soil fertility decreases sucrose content and susceptibility of loblolly pine roots to ectomycorrhizal infection by *Pisolithus tinctorius*. *Canadian Journal of Botany*, 55(12): 1569–1574. DOI: 10.1139/b77-185.
- MEJSTŘÍK V. 1988. Mykorhizní symbiózy. Praha, Academia: 152 s.
- NEWTON A.C., PIGOTT C.D. 1991. Mineral nutrition and mycorrhizal infection of seedling oak and birch. II. The effect of fertilizers on growth, nutrient uptake and ectomycorrhizal infection. *New Phytologist*, 117: 45–52. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1991.tb00943.x
- ORTEGA U., DUÑABEITIA M., MENENDEZ S., GONZALEZ-MURUA C., MAJADA J. 2004. Effectiveness of mycorrhizal inoculation in the nursery on growth and water relations of *Pinus radiata* in different water regimes. *Tree Physiology*, 24: 65–73. DOI: 10.1093/treephys/24.1.65
- PAMPOLINA N.M., DELL B., MALAJCZUK N. 2002. Dynamics of ectomycorrhizal fungi in an *Eucalyptus globulus* plantation: effect of phosphorus fertilization. *Forest Ecology and Management*, 158 (1–3): 291–304. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00721-0

- PEŠKOVÁ V. 2000. Mykorhizní inokulace, cesta, jak zlepšit ujímavost sazenic. Lesnická práce, 79: 120–121.
- PEŠKOVÁ V., SOUKUP F. 2006. Houby vázané na kořenové systémy: metodické přístupy ke studiu: review. Zprávy lesnického výzkumu, 51: 279–286.
- PEŠKOVÁ V., TUMA M. 2010. Ověření vlivu mykorhizního preparátu na růst a vývoj smrkových sazenic na LS Jablunkov. Zprávy lesnického výzkumu, 55: 211–220.
- PETERSON R.L., MASSIOCOTTE H.B., MELVILLE L.H. 2004. Mycorrhizas: anatomy and cell biology. Ottawa, National Research Council of Canada: 173 s.
- PLÍVA K. 1987. Typologický klasifikační systém ÚHÚL [online]. Brandýs n.L., Ústav pro hospodářskou úpravu lesů [cit. 2018-05-18]. Dostupné na/Available on: http://www.uhul.cz/images/typologie/Typologicky_klasifikacni_system_UHUL_Pliva_1987.pdf.
- REPÁČ I., TUČEKOVÁ I., SARVAŠOVÁ I., VENCURIK I. 2011. Survival and growth of outplanted seedlings of selected tree species on the High Tatra Mts. windthrow area after the first growing season. Journal of Forest Science, 57: 349–358.
- SOUSA N.R., FRANCO A.R., OLIVEIRA R.S., CASTRO P.M.L. 2012. Ectomycorrhizal fungi as an alternative to the use of chemical fertilisers in nursery production of *Pinus pinaster*. Journal of Environmental Management, 95: 269–274. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.07.016
- ŠRÁMEK V., NOVOTNÝ R., FIALA P., NEUDERTOVÁ-HELLEBRANDOVÁ K., REININGER D., SAMEK T., ČIHÁK T., FADRHOŇOVÁ V. 2014. Vápění lesů v České republice. Praha, Ministerstvo zemědělství ve spolupráci s Výzkumným ústavem lesního hospodářství: 91 s.
- TUČEKOVÁ A., LONGAUEROVÁ V., LEONTOVÝČ R. 2009. Poznatky z testování mykorhizovaného preparátu Vambac na smreku (*Picea abies* L.) v oblasti s dlhodobě zvýšeným stavem *Armillaria* sp. In: Mykorhiza v lesích a možnosti její podpory. Sborník referátů. 15.–16. dubna 2009, Frýdek-Místek. Praha, Česká lesnická společnost: 52–58.
- TRESEDER K.K. 2004. A meta-analysis of mycorrhizal responses to nitrogen, phosphorus, and atmospheric CO₂ in field studies. New Phytologist, 164 : 347–355. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2004.01159.x
- VÍTOUSEK P., PORDER S., HOULTON B.Z., CHADWICK O.A. 2010. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen–phosphorus interactions. Ecological Applications, 20 (1): 5–15. DOI: 10.1890/08-0127.1
- WALLANDER H., NYLUND J.-E. 1992. Effects of excess nitrogen and phosphorus starvation on the extramatrical mycelium of ectomycorrhizas of *Pinus sylvestris* L. New Phytologist, 120: 495–503. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1992.tb01798.x

IMPACT OF SOIL NUTRIENTS ON SUCCESS OF ARTIFICIAL MYCORRHIZAL INOCULATION OF PENDUCULATE OAK SEEDLINGS (*QUERCUS ROBUR* L.)

SUMMARY

Artificial inoculation with mycorrhizal fungi can have a positive effect on plant rooting and growth, and can lead to an increased resistance to various abiotic factors and biotic harmful agents. That is why this method is useful for example in forest nurseries as an option to the fertilizing, and can also be used before planting of seedlings into forests, especially in case of nutrient poor and/or strong acid soils. In our study we evaluated the influence of artificial ectomycorrhizal inoculation in relation to the soil nutrient content.

Seedlings of *Quercus robur* were planted on two different study plots in the forest district Litvínov in the Ore Mountains (Czech Republic). On the first plot, the roots of seedlings were soaked in a preparation containing ectomycorrhizal fungi before plantation (inoculation). It was preparation Ectovit manufactured by Bioteck CZ s. r. o. (Czech Republic). On the second plot, the seedlings were not treated (control). One and half year after planting, 30 seedlings were sampled from each plot (60 seedlings in total). Height of seedlings, root collar diameter and mycorrhizal characteristics were the measured and parameters compared. For characterization of a soil nutrient concentration on the each plot, mixed soil samples were taken from both plots. In the analytical laboratory, pH values, content of biogenic elements (P, Ca, K, Mg, N, S, C), metals and trace elements (Fe, Mn, Zn, K, Mg, Na, Al) and dry weight were determined. For P, Ca, K, Mg, Zn, Na both, available and total amount of element was analysed.

In our study inoculated seedlings showed a statistically significant lower density of active (0.41 vs. 2.12 cm^{-1} ; U: $n = 60$; $p < 0.001$) and nonactive (0.88 vs. 1.33 cm^{-1} ; U: $n = 60$; $p < 0.01$) mycorrhizae and also lower proportion of active mycorrhizae (34 vs. 60 %; U: $n = 60$; $p < 0.001$; Tab. 2; Fig. 1). Differences in the height of aboveground parts, root collar diameter and weight of aboveground matter of the treated and control seedlings were not statistically significant (Tab. 2; Fig. 1). Both experimental plots differed in nutrient concentration in the soil profile up to 30 cm of depth. Main differences were found in concentration of available phosphorus (557% on the treated plot compared to the control plot; Tab. 1), available magnesium (243% on the treated plot compared to the control plot; Tab. 1), and in total amount of potassium (213% on the treated plot compared to the control plot; Tab. 1). On the other hand, concentrations of zinc was lower (36% and 48% respectively) on the treated plot in comparison to the control plot (Tab. 1). Concentrations of other elements were not significantly different.

In addition to our study, the negative effect of phosphorus on mycorrhiza was reported in a number of previous studies. Phosphorus fertilization resulted in a statistically significant lower colonization of ectomycorrhizal fungi for example by oak (*Quercus robur*), birch (*Betula pendula*), poplar (*Populus trichocarpa*), pine (*Pinus taeda*) etc. Our findings are in accordance with the previous results, and we also conclude that the failure of the inoculation in our study was caused primarily by the higher content of available phosphorus in the soil in the area with inoculated seedlings. This study shows that artificial mycorrhizal inoculation in the case of favourable nutrient content in the soil may be ineffective or even unnecessary.

Zasláno/Received: 27. 09. 2019

Přijato do tisku/Accepted: 19. 11. 2019