

# VLIV MYKORHIZNÍHO PŘÍPRAVKU A HNOJIVA NA RŮST A NAPADENÍ SAZENIC SMRKU ZTEPILÉHO VÁCLAVKAMI

## INFLUENCE OF MYCORRHIZAL PREPARATION AND FERTILIZER ON GROWTH AND HONEY FUNGUS INFESTATION OF NORWAY SPRUCE SEEDLINGS

FRANTIŠEK LORENC<sup>1)</sup> ✉ - JAN LUBOJACKÝ<sup>1)</sup> - TOMÁŠ TONKA<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady 136, 252 02 Jíloviště-Strnady, Czech Republic

<sup>2)</sup>Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská a technologická, Studentská 1668, České Budějovice, Czech Republic

✉ e-mail: lorenc@vulhm.cz

ORCID: F. Lorenc 0000-0002-6741-0069

### ABSTRACT

On Norway spruce (*Picea abies* L. [H.] Karst.) seedlings, influence of three treatments – (i) inoculation with Ectovit<sup>®</sup> preparation containing ectomycorrhizal fungi (INOCULATION), (ii) Ectovit<sup>®</sup> + Conavit<sup>®</sup> fertilizer (INOCULATION + FERTILIZATION), and (iii) untreated group (CONTROL) – were evaluated in this study. In autumn 2021 (3.5 years after inoculation), 100 seedlings/treatment (300 seedlings in total) were sampled to evaluate seedlings survival percentage and growth characteristics, and 10 live seedlings/treatment (30 seedlings in total) to evaluate dry weight and the number of seedlings with *Armillaria* rhizomorphs. By relating these values to the previous evaluation (autumn 2019), values for period autumn 2019 – autumn 2021 were obtained for statistical analyses. Increment of the seedling height, increment of the root collar diameter and increment of the seedling aboveground dry weight were significantly higher in INOCULATION compared to INOCULATION + FERTILIZATION, the first and second named variables were also significantly higher in INOCULATION compared to CONTROL. There were no significant differences in seedlings survival percentage nor number of seedlings with *Armillaria* rhizomorphs (all identified as *Armillaria ostoyae* [Romagn.] Herink). Contrary to the previous evaluation (1.5 years after inoculation), the protective effect of artificial ectomycorrhizal inoculation against infection of seedling by honey fungus was not confirmed.

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

**Klíčová slova:** *Armillaria*; ektomykorhiza; kořeny; ochrana lesa; pěstování lesa; *Picea abies*; živiny

**Key words:** *Armillaria*; ectomycorrhiza; roots; forest protection; silviculture; *Picea abies*; nutrients

### ÚVOD

Václavky jsou stopkovýtrusné houby patřící k dlouhodobě nejvýznamnějším patogenům evropských lesů. Náchylnější k napadení václavkami jsou dřeviny stresované vysokými teplotami (LINDNER et al. 2008), půdním suchem a odumíráním mykorhiz (SIEROTA, GRODZKI 2020). Nejohroženější jsou monokultury (DÁLYA, SEDLÁK 2020), především nepůvodní smrkové porosty (ČERNÝ 1988) na stanovištích se zhutnělou půdou, s nedostatkem živin a nízkými hodnotami půdního pH (LINDNER et al. 2008; HOLUŠA et al. 2018). K příznakům napadení dřevin václavkami patří výron pryskyřice, bílá hniloba dřeva působící zpravidla v kořenech a spodní části kmene, lahvicovitě ztloustlé báze kmenů, světle šedo zelené až žlutozelené zbarvení jehlic a později opad

jehlic, přítomnost plodnic v blízkosti napadených stromů, přítomnost bělavého blanitého syrrocia pod kůrou a přítomnost hnědých až černých provazcovitých rhizomorfů na kořenech a v jejich okolí (SOUKUP 2005). V Evropě se vyskytuje 7 druhů václavek: v. smrková (*Armillaria ostoyae* [Romagn.] Herink), v. cibulkotřenná (*A. cepistipes* Velen.), v. hlíznatá (*A. gallica* Marxmüller & Korhonen), v. obecná (*A. mellea* [Vahl] P. Kumm.), v. severská (*A. borealis* Marxmüller & Korhonen), v. beztrstenná (*Desarmillaria tabescens* [Scop.] R.A. Koch & Aime) a v. bažinná (*D. ectypa* [Fr.] R.A. Koch & Aim) (GUILLAUMIN et al. 1993; INDEX FUNGORUM 2022). Nejvýznamnějším patogenem smrku ztepilého (*Picea abies* L. [H.] Karst.) je v. smrková (JANKOVSKÝ 2003; HOLUŠA et al. 2018) a poté v. cibulkotřenná (HOLUŠA et al. 2018). Dlouhodobým opatřením proti václavkám ve smrkových porostech je

změna smrkových monokultur na přírodě blízké lesy (MORRISON et al. 2014; DÁLYA, SEDLÁK 2020). Vyšší zastoupení listnáčů vede ke zvýšení pH půdy, a tedy k méně příznivým podmínkám pro rozvoj václavek (HOLUŠA et al. 2018). Odstraňování pařezů i s kořeny potlačuje rozvoj kořenových hnilob způsobených václavkami i dalšími patogeny (MORRISON et al. 2014; MODI et al. 2020) a vede k rozvoji společenstev ektomykorhizních hub (MODI et al. 2020). Naopak probírky v oblastech se silným infekčním tlakem václavek se ukazují jako neúčinné (HOLUŠA et al. 2018). K potlačení václavek lze využít také antagonisticke organismy, zejména houby rodu *Trichoderma* (PERCIVAL et al. 2011; CHEN et al. 2019; REES et al. 2021).

Umělé očkování mykorhizními houbami (dále jen „inokulace“) představuje metodu na podporu růstu rostlin, využívající principu mykorhizní symbiomy – vzájemně prospěšného soužití rostlinných a houbových organismů, při němž vznikají na kořenech rostlin útvary nazývané mykorhizy, vyznačující se fyziologickou aktivitou obou zúčastněných složek (PEŠKOVÁ, SOUKUP 2006). Většina lesnický významných dřevin (včetně smrku ztepilého) žije v symbióze s ektomykorhizními houbami (PEŠKOVÁ, SOUKUP 2006), jejichž houbová vlákna (hyfy) zpravidla vytvářejí v mezibuněčných prostorách hostitelské dřeviny tzv. Hartigovu síť a na povrchu kolonizovaného kořene tzv. hyfový plášť, z něhož hyfy prorůstají do půdního substrátu (PETERSON et al. 2004). Pro úspěšnou inokulaci je třeba, aby použité mykorhizní houby byly schopné snadno a rychle vytvořit s hostitelskou rostlinou mykorhizy, byly přizpůsobené stanovištním podmínkám a odolné vůči stresům. Pro určitý druh dřeviny neexistuje univerzální optimální symbiont (MEJSTŘÍK 1988; POLICELLI et al. 2020). Inokulací některými druhy ektomykorhizních hub lze provést pomocí spor, zatímco u mnoha jiných druhů je nutná inokulace nárůst mycelia přímo na kořenové špičky hostitelských rostlin (POLICELLI et al. 2020). Ve většině studií použití inokula z referenčních ekosystémů vedlo k vyšší kolonizaci mykorhizními houbami než inokulace komerčními přípravky (MALTZ, TRESEDER 2015).

Inokulace má většinou pozitivní vliv na ujmavost, růst rostlin a vede ke zvýšení odolnosti vůči různým abiotickým vlivům a biotickým škodlivým činitelům (GRYNDLER et al. 2004; PEŠKOVÁ, TUMA 2010; POLICELLI et al. 2020). Inokulace také prokazatelně zvyšuje četnost mykorhizních hub, což je důležité při zakládání porostů (MALTZ, TRESEDER 2015). Pozitivní vliv inokulace na dřeviny je výrazný především v nepříznivých podmínkách (GARBAYE, CHURIN 1997; ORTEGA et al. 2004; PEŠKOVÁ, TUMA 2010; MALTZ, TRESEDER 2015). Vzhledem k probíhající klimatické změně, vyznačující se změnami průměrných hodnot klimatických faktorů a stále extrémnějšími výkyvy počasí včetně delších období sucha (LINDNER et al. 2008) lze očekávat, že inokulace bude stále významnějším způsobem podpory sazenic při pěstování ve školkách i při zakládání a obnově lesních porostů. Aplikace ektomykorhizního inokula zpravidla nepůsobí na růst rostlin negativně. K prokazatelné stimulaci růstu však v mnoha případech nemusí vůbec dojít (CASTELLANO 1996; HOLUŠA et al. 2015; REPÁČ, SENDECKÝ 2018; REPÁČ et al. 2021, 2022) a vliv inokulace může být i při použití stejného přípravku na stejné dřevinně rozdílný (HOLUŠA et al. 2009; PEŠKOVÁ, TUMA 2010; REPÁČ et al. 2011; REPÁČ, SENDECKÝ 2018).

Vliv inokulace na napadení václavkami byl u rostlin žijících v symbióze s ektomykorhizními houbami testován podrobněji u borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) 6 let po výsadbě (KOWALSKI, WOJNOWSKI 2009) a u smrku ztepilého, jedle bělokoré (*Abies alba* Miller) a buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) 1,5 roku po výsadbě (LORENC et al. 2021). V ostatních studiích byly uvedeny pouze jednotlivé nálezy rhizomorfy václavek bez druhové identifikace a statistického vyhodnocení (TUČEKOVÁ et al. 2009; PEŠKOVÁ, TUMA 2010). Laboratorně byl prokázán antagonismus václavky obecné s ektomykorhizními houbami (EGHBAL-TALAB et al. 1975). Studie umožňující přímé srovnání krátkodobého

a dlouhodobého vlivu ektomykorhizní inokulace na dřeviny dosud chybí.

Cílem naší studie bylo zjistit, jak inokulace ovlivňuje ujmavost, růst a odolnost proti infekčnímu tlaku václavek u sazenic smrku ztepilého, a na základě zjištěných výsledů a porovnání s předchozími studiemi posoudit krátkodobou i dlouhodobou účinnost inokulace.

## MATERIÁL A METODIKA

Naše studie přímo navazovala na předchozí práci (LORENC et al. 2021) a byla realizována na výzkumné lokalitě poblíž obce Moravský Beroun – Čabová (Olomoucký kraj, Česká republika, 49°48'20"N, 17°29'30"E). Průměrná roční teplota na lokalitě v období 1981–2010 činila 7,9 °C, průměrné roční srážky činily 686 mm (ČHMÚ 2022). Podloží bylo tvořeno převážně laminovanými břidlicemi. Půdní typ byla kambizem kyselá (CENIA 2010–2019). Lokalita se nacházela v bývalém smrkovém porostu se silným infekčním tlakem václavky smrkové, což bylo na podzim roku 2018, 2019 (LORENC et al. 2021) a 2021 potvrzeno četným výskytem plodnic této houby.

Na lokalitě byly vysazeny prostokořenné sazenice smrku ztepilého v období 10. – 20. 4. 2018 v podobě tříletých sazenic školkových jako jednoleté semenáčky z fóliovníku. Všechny smrkové sazenice byly během června 2018 ošetřeny insekticidní jichou přípravku Vaztak Active (mikroemulze s účinnou látkou alpha-cypermethrin 50 g·l<sup>-1</sup>; BASF SE, Ludwigshafen, Německo) v dávce přípravku 5 l·ha<sup>-1</sup> z důvodu ochrany proti klikorohu borového (*Hylobius abietis* L.). Dvě třetiny sazenic byly těsně před výsadbou inokulovány mykorhizním přípravkem Ectovit<sup>®</sup> obsahujícím ektomykorhizní houby (varianta „INOKULACE“). K polovině inokulovaných sazenic bylo navíc aplikováno hnojivo Conavit<sup>®</sup> (varianta „INOKULACE + HNOJENÍ“). Třetina všech sazenic zůstala neošetřena (varianta „KONTROLA“) (tab. 1).

V termínu 21. – 22. 6. 2018 bylo v každém typu ošetření označeno 100 sazenic (celkem 3 varianty = celkem 300 sazenic). Sazenice byly označovány po cca 14–17 jedincích v 6–7 řadách uprostřed výzkumných ploch (LORENC et al. 2021).

14. 10. 2021 byla v terénu u označených sazenic zjištěna: (i) ujmavost – za živé byly považovány sazenice s nižší než 100% defoliací, za mrtvé sazenice se 100% defoliací nebo chybějící, následně byl počet živých sazenic ze 14. 10. 2021 vydělen počtem živých sazenic z 24. – 30. 10. 2019, zjištěným ve studii LORENC et al. (2021); (ii) přírůst výšky nadzemních částí sazenic – změřena délka terminálního výhonu přirostlého v roce 2020 a 2021 s přesností na cm a následný součet těchto délek; (iii) přírůst tloušťky kořenového krčku v období let 2020 a 2021 – tloušťka kořenového krčku změřena na kmíncích sazenic v místě styku kmínku s půdním povrchem s přesností na desetiny mm s následným odečtem hodnoty tloušťky kořenového krčku změřené 24. – 30. 10. 2019 ve studii LORENC et al. (2021).

14. 10. 2021 bylo také z každé varianty odebráno 10 živých sazenic (30 sazenic celkem). Z odebraných sazenic byly v laboratoři ostříhány terminální výhony a větve z roku odběru a předchozího roku a následně sušeny v sušárně při teplotě 105 °C, čímž byl zjištěn přírůst hmotnosti sušiny nadzemních částí sazenic. Při podrobné prohlídce kořenových balů odebraných sazenic v laboratoři byly detekovány rhizomorfy václavek. Rhizomorfy byly očištěny pomocí vody a uloženy do fixačního roztoku 35% etanolu.

Druhová identifikace václavek na sazenicích byla provedena pomocí molekulárních analýz ze vzorků rhizomorfy. Izolace DNA byla provedena metodou CTAB-PVP (POREBSKI et al. 1997). Specifické úseky vyizolované DNA byly namnoženy pomocí polymerázové řetězové re-

akce (PCR) za použití primerů EF1160F/EF1750R (KAUSERUD, SCHUMACHER 2001). Pozitivní vzorky byly osekvenovány v externí laboratoři (SEQme s.r.o., Dobříš, Česká republika) a porovnány s databází nukleotidových sekvencí GenBank (NCBI) pomocí algoritmu BLAST (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/>). Na základě podobnosti sekvencí s nukleotidovou databází byla určena druhová příslušnost václavků. Na základě obecně přijímaných zásad byly sekvence identické nad 98 % považovány za významné a druhová příslušnost amplifikovaných sekvencí byla stanovena na základě nejlepší shody s maximální identitou sekvencí z databáze GenBank.

Z půdy z kořenových balů odebraných sazenic byly promícháním vytvořeny směsné vzorky pro jednotlivé varianty (3 vzorky celkem). Směsné vzorky půdy byly podrobeny analýzám, které zahrnovaly: procento sušiny, pH v H<sub>2</sub>O, pH v KCl, koncentrace C, N a S celkové, a koncentrace Na, K, Mg, Ca, P, Mn, Fe a Al v přístupné formě. Analýza vzorků proběhla ve Zkušebních laboratořích Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., podle standardních operačních postupů (SOP) zpracovaných dle příslušných norem (ČSN/EN/ISO).

Statistické vyhodnocení bylo provedeno v programu STATISTICA 10 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA) na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Ujímavost sazenic a počet sazenic s rhizomorfi václavků byly hodnoceny pomocí analýzy frekvencí pozorovaných hodnot a jejich porovnáním s očekávanými hodnotami ( $\chi^2$ ). Růstové charakteristiky (přírůst výšky nadzemních částí sazenic, přírůst tloušťky kořenového krčku, hmotnost přírůstu sušiny nadzemních částí) byly testovány na shodu s normálním rozdělením pomocí Shapiro-Wilkova testu. Vzhledem k narušení normality dat byl k testování významnosti rozdílů růstových charakteristik sazenic mezi variantami ošetření

použit neparametrický Kruskalův-Wallisův test (K-W) a k následnému mnohonásobnému porovnávání Dunnův test (z).

## VÝSLEDKY

Ujímavost sazenic ve sledovaném období podzim 2019 – podzim 2021 činila 89 % u varianty INOKULACE, 84 % u INOKULACE + HNOJENÍ a 87 % u varianty KONTROLA, přičemž tyto rozdíly nebyly statisticky významné (tab. 2 a 3).

Přírůst výšky nadzemních částí sazenic, přírůst tloušťky kořenového krčku a hmotnost přírůstu sušiny nadzemních částí se mezi jednotlivými typy ošetření statisticky významně lišily: ve všech případech byly statisticky významně vyšší hodnoty INOKULACE oproti INOKULACE + HNOJENÍ, u přírůstu výšky nadzemních částí sazenic a přírůstu tloušťky kořenového krčku také INOKULACE oproti KONTROLA (tab. 2 a 3).

Z 30 odebraných sazenic (10 z každé varianty) byla přítomnost václavky detekována v podobě rhizomorf na kořenech a bázích kmínků sazenic u všech variant ošetření, rozdíly v počtu sazenic s rhizomorfami václavků nebyly statisticky významné (tab. 2 a 3). Molekulárními analýzami byly všechny rhizomorfy identifikovány jako václavka smrková.

Koncentrace živin ve směsných vzorcích půdy se mezi variantami ošetření nejvíce lišila u fosforu v přístupné formě ( $P_{av}$ ): výrazně nižší byla u INOKULACE (tab. 4).

**Tab. 1.**

Přehled použitých typů ošetření (LORENC et al. 2021)  
Summary of used treatments (LORENC et al. 2021)

Ošetření/Treatment	Popis/Description
INOKULACE/INOCULATION	Inokulace sazenic přípravkem Ectovit® (Symbiom, s.r.o., Lanškroun, Česká republika). Inokulace byla prováděna namáčením celého povrchu kořenů do mykorrhizní směsi vytvořené rozpuštěním 3 kg přípravku Ectovit® v 50 l vody. Přípravek obsahoval mycelium 4 druhů ektomykorrhizních hub vázaných na agarové médium: <i>Amanita muscaria</i> (L.) Lam., <i>Hebeloba crustuliniforme</i> (Bull.) Quél., <i>Laccaria proxima</i> (Boud.) Pat., <i>Paxillus involutus</i> (Batsch) Fr., a živé spory dvou druhů ektomykorrhizních hub jako součást rašelinové složky: <i>Pisolithus arhizus</i> (Scop.) Rauschert a <i>Scleroderma citrinum</i> Pers. Inoculation of seedlings by Ectovit® preparation (Symbiom, s.r.o., Lanškroun, Czech Republic). During inoculation, the whole root surface was immersed in the mycorrhizal solution made of 3 kg of the Ectovit® product and 50 L of water. The preparation contained the mycelium of 4 ectomycorrhizal fungi on agar medium: <i>Amanita muscaria</i> (L.) Lam., <i>Hebeloba crustuliniforme</i> (Bull.) Quél., <i>Laccaria proxima</i> (Boud.) Pat., and <i>Paxillus involutus</i> (Batsch) Fr. together with basidiospores of two ectomycorrhizal fungi as part of the peat component: <i>Pisolithus arhizus</i> (Scop.) Rauschert and <i>Scleroderma citrinum</i> Pers.
INOKULACE + HNOJENÍ/ INOCULATION + FERTILIZATION	Inokulace sazenic přípravkem Ectovit® + aplikace hnojiva Conavit® (Symbiom, s.r.o., Lanškroun, Česká republika) do výsadbových jamek a ke kořenům během výsadby v dávce 50 ml na sazenici. Hnojivo obsahovalo extrakty z mořských organismů, přírodních humusových látek, mletých nerostů a hornin a přírodního keratinu, s vysokým obsahem N, P, K, Ca, Mg a obsahujícím také B, Mn, Cu a Zn. Inoculation of seedlings by Ectovit® preparation + application of Conavit® fertilizer (Symbiom, s.r.o., Lanškroun, Czech Republic) to planting holes and to the roots during planting with dosage of 50 ml per plant. The fertilizer contained extracts from marine organisms, natural humates, ground minerals and natural keratin; it is rich in N, P, K, Ca, Mg and it also contains B, Mn, Cu and Zn.
KONTROLA/CONTROL	Sazenice bez inokulace a hnojení./Seedlings without inoculation and fertilization.

**Tab. 2.**

Počet vzorků, průměr ± směrodatná odchylka a hodnoty hodnocených proměnných  
Number of samples, mean ± standard deviation and values for assessed variables

Proměnná/Variable	Jednotka/Unit	Ošetření/Treatment	N	Hodnota/Value
Procentuální ujmavost sazenic/ Seedling survival percentage	%	INOKULACE/INOCULATION	66	89
		INOKULACE + HNOJENÍ/INOCULATION + FERTILIZATION	25	84
		KONTROLA/CONTROL	70	87
Přírůst výšky nadzemních částí sazenic/ Increment of the seedling height	cm	INOKULACE/INOCULATION	57	84 ± 22
		INOKULACE + HNOJENÍ/INOCULATION + FERTILIZATION	21	63 ± 25
		KONTROLA/CONTROL	61	68 ± 25
Přírůst tloušťky kořenového krčku/ Increment of the root collar diameter	cm	INOKULACE/INOCULATION	58	1,84 ± 0,53
		INOKULACE + HNOJENÍ/INOCULATION + FERTILIZATION	20	1,13 ± 0,62
		KONTROLA/CONTROL	60	1,13 ± 0,59
Hmotnost přírůstu sušiny nadzemních částí/ Increment of the seedling aboveground dry weight	g	INOKULACE/INOCULATION	10	423 ± 143
		INOKULACE + HNOJENÍ/INOCULATION + FERTILIZATION	10	223 ± 201
		KONTROLA/CONTROL	10	272 ± 228
Počet sazenic s rhizomorfami václavek/ Number of seedlings with <i>Armillaria</i> rhizomorphs		INOKULACE/INOCULATION	10	2
		INOKULACE + HNOJENÍ/INOCULATION + FERTILIZATION	10	3
		KONTROLA/CONTROL	10	7

Vysvětlivka/Caption: N – počet vzorků/number of samples

**Tab. 3.**

Výsledky statistických testů hodnocených proměnných  
Results of the statistical tests for assessed variables

Proměnná/Variable	df	N	Hodnota testu/ Value of the test	p	Významně odlišné varianty ošetření/ Significantly different treatments
Procentuální ujmavost sazenic/ Seedling survival percentage	2	161	$\chi^2$ : 0,1690	0,92	
Přírůst výšky nadzemních částí sazenic/ Increment of the seedling height	2	139	K-W: 14,8287	***	INOKULACE > INOKULACE + HNOJENÍ/ INOCULATION > INOCULATION + FERTILIZATION; z = 3,0599** INOKULACE > KONTROLA/ INOCULATION > CONTROL; z = 3,3094**
Přírůst tloušťky kořenového krčku/ Increment of the root collar diameter	2	138	K-W: 38,6039	***	INOKULACE > INOKULACE + HNOJENÍ/ INOCULATION > INOCULATION + FERTILIZATION ; z = 4,0200*** INOKULACE > KONTROLA; INOCULATION > CONTROL; z = 5,8693***
Hmotnost přírůstu sušiny nadzemních částí/ Increment of the seedling aboveground dry weight	2	30	K-W: 6,2581	*	INOKULACE > INOKULACE + HNOJENÍ/ INOCULATION > INOCULATION + FERTILIZATION; z = 2,4130*
Počet sazenic s rhizomorfami václavek/ Number of seedlings with <i>Armillaria</i> rhizomorphs	2	30	$\chi^2$ : 3,5000	0,17	

Vysvětlivky/Captions: p – hladina významnosti/significance level: \* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001; z – Dunnův test/Dunn's test

## DISKUSE

Procentuální ujmavost sazenic se v období naší studie (podzim 2019 – podzim 2021) mezi variantami ošetření významně nelišila. LORENC et al. (2021) v předchozím období (výsadba jaro 2018 – podzim 2019) zaznamenali celkově velmi nízkou ujmavost, především u smrku ztepilého i jedle bělokoré u varianty INOKULACE + HNOJENÍ z důvodu extrémně vysokých teplot a nízkých srážek v roce výsadby. Odchylky průměrné roční teploty oproti průměrným ročním teplotám v letech 1981–2010 v Olomouckém kraji byly: + 1,7 °C v roce 2018; + 1,7 °C v roce 2019; + 1,2 °C v roce 2020; + 0,2 °C v roce 2021 (ČHMÚ 2022). Procentuální roční úhrn srážek oproti ročním srážkovým úhrnům v letech 1981–2010 v Olomouckém kraji byl: 79 % v roce 2018; 103 % v roce 2019; 125 % v roce 2020; 94 % v roce 2021 (ČHMÚ 2022). Během období naší studie tedy byla procentuální ujmavost sazenic celkově vyšší než v předchozí studii z důvodu příznivějších teplot a především vyšších srážek. Významnější negativní vliv sucha a vysokých teplot na ujmavost sazenic oproti inokulaci zmiňují také PEŠKOVÁ, TUMA (2010). Naproti tomu vyšší ujmavost vykazovaly inokulované sazenice buku lesního, jedle bělokoré, smrku ztepilého (TUČEKOVÁ et al. 2009; REPÁČ et al. 2021), lípy srdčité (*Tilia cordata* Mill.), javoru babyky (*Acer campestre* L.) a dubu letního (*Quercus robur* L.) (FINI et al. 2016), u borovice lesní při použití přípravku Ectovit<sup>®</sup> (REPÁČ et al. 2021) a při inokulaci houbou *Hebeloma crustuliniforme* (KOWALSKI, WOJNOWSKI 2009), kterou přípravek Ectovit<sup>®</sup> obsahuje. Inokulace tedy ovlivňuje ujmavost sazenic většinou pozitivně, ale silně nepříznivé povětrnostní podmínky mohou tento efekt zvrátit.

Přírůst výšky nadzemních částí a přírůst tloušťky kořenového krčku sazenic se v naší studii významně lišily, řazeno od nejvyššího: INOKULACE, KONTROLA, INOKULACE + HNOJENÍ. Přírůst hmotnosti sušiny nadzemních částí sazenic byl v naší studii významně vyšší u INOKULACE oproti INOKULACE + HNOJENÍ. Hnojiva a fungicidy mohou zvýšit početnost méně prospěšných ektomykorhizních druhů ve školce sazenic, a snižovat tak pozitivní vliv ektomykorhizní symbiózy (SMALL, WALBERT 2013). Je tedy možné, že v naší studii mělo hnojivo Conavit<sup>®</sup> negativní vliv na rozvoj ektomykorhiz, což vedlo k významně vyšší výšce nadzemních částí u varianty INOKULACE oproti variantě INOKULACE + HNOJENÍ. REPÁČ et al. (2022) doporučují věnovat se v budoucím výzkumu stanovení množství hnojiva, které nepotlačuje rozvoj ektomykorhizních hub a zároveň podporuje

růst sazenic. LORENC et al. (2021) v předchozím období zaznamenali z růstových charakteristik významné rozdíly pouze u přírůstu tloušťky kořenového krčku: u smrku ztepilého významně vyšší u varianty INOKULACE oproti ostatním variantám, u jedle bělokoré významně vyšší u varianty KONTROLA oproti ostatním, a u buku lesního u varianty KONTROLA oproti INOKULACE. Významný vliv na růst sazenic mohly mít kromě hnojiva také jednorázové klimatické události (např. vysoké teploty a sucho), rozdílné mikroklimatické podmínky v místě výsadby sazenic, kvalita inokula a přirozeně se vyskytující mykorhizní houby (HOLUŠA et al. 2015). V předchozích studiích při použití tohoto přípravku HOLUŠA et al. (2009) zaznamenali u sazenic smrku ztepilého na lokalitě se silným infekčním tlakem václavek významný pozitivní vliv na výšku nadzemních částí, tloušťku kořenového krčku a maximální délku kořene. REPÁČ et al. (2022) u sazenic smrku ztepilého významný vliv přípravku Ectovit<sup>®</sup> na růstové charakteristiky po první vegetační sezóně od inokulace nezaznamenali, avšak po druhé a třetí vegetační sezóně od inokulace byly tloušťka kořenového krčku, hmotnost sušiny nadzemních částí i hmotnost kořenové sušiny u inokulovaných sazenic významně vyšší oproti sazenicím ošetřeným přípravkem Mycorrhizaroots<sup>®</sup> (obsahujícím mykorhizní houby a živiny), minerálním hnojivem Vetozen<sup>®</sup> i kontrolním sazenicím. Naproti tomu PEŠKOVÁ, TUMA (2010) a REPÁČ, SENDECKÝ (2018) u prostokořených sazenic smrku ztepilého, REPÁČ et al. (2021) u prostokořených sazenic ani u krytokořených sazenic smrku ztepilého a borovice lesní, REPÁČ et al. (2011) u prostokořených ani u krytokořených sazenic smrku ztepilého, borovice lesní, modřínu opadavého (*Larix decidua* Mill.), buku lesního a javoru kleny (*Acer pseudoplatanus* L.) a ani LORENC, NOVOTNÝ (2020) u sazenic dubu letního významný vliv inokulace přípravkem Ectovit<sup>®</sup> na růstové charakteristiky sazenic nezaznamenali. REPÁČ, SENDECKÝ (2018) u jednoletých sazenic smrku ztepilého zaznamenali významně vyšší hmotnost sušiny nadzemních částí na sazenicích inokulovaných laboratorně připraveným myceliem z ektomykorhizních hub oproti sazenicím inokulovaným přípravkem Ectovit<sup>®</sup> i kontrolním sazenicím. Inokulace však nevedla k prokazatelnému rozvoji mykorhiz (morfotypů) odpovídajícím použitým ektomykorhizním houbám ani k vyšší kolonizaci kořenů ektomykorhizními houbami. Přesto nelze vliv použitých ektomykorhizních hub na tvorbu ektomykorhiz ani na mimovýživové účinky vyloučit (REPÁČ, SENDECKÝ 2018; REPÁČ et al. 2021). Při použití ektomykorhizního přípravku Vambac<sup>®</sup> zaznamenali

Tab. 4.

Výsledky chemických analýz půdních vzorků  
Results of chemical analyses of soil samples

Ošetření/ Treatment	DW (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	C <sub>tot</sub>	N <sub>tot</sub>	S <sub>tot</sub>	Na <sub>av</sub>	K <sub>av</sub>	Mg <sub>av</sub>	Ca <sub>av</sub>	P <sub>av</sub>	Mn <sub>av</sub>	Fe <sub>av</sub>	Al <sub>av</sub>
INOKULACE/ INOCULATION	95,49	3,85	3,16	105000	5690	729	11,98	79,68	60,77	395,47	3,58	91,66	29,94	937,52
INOKULACE + HNOJENÍ/ INOCULATION + FERTILIZATION	95,14	4,07	3,40	126000	6560	929	14,3	111,07	90,41	430,78	2,33	148,45	36,64	912,80
KONTROLA/ CONTROL	95,83	4,40	3,50	95000	5660	813	17,09	109,50	96,79	423,75	6,23	131,30	16,11	670,70

Vysvětlivky/Captions: DW – hmotnost sušiny/dry weight; tot – celková koncentrace/total concentration; av – koncentrace v přístupné formě/concentration in available form; koncentrace prvků jsou uvedeny v mg·kg<sup>-1</sup> sušiny/concentrations of the elements are given in mg·kg<sup>-1</sup> dry weight

HOLUŠA et al. (2015) významný pozitivní vliv inokulace u sazenic dubu letního na výšku nadzemních částí, tloušťku kořenového krčku, maximální délku kořene a hmotnost kořenové sušiny pouze na některých lokalitách, a to jak u sazenic jeden rok po inokulaci, tak u mladého porostu 9–10 let po inokulaci. Podobně TUČEKOVÁ et al. (2009) zaznamenali při použití totožného přípravku na sazenicích smrku ztepilého, jedle bělokoré a buku lesního významný pozitivní vliv na přírůst výšky nadzemních částí sazenic a přírůst tloušťky kořenového krčku pouze na některých z pěti výzkumných ploch a pouze v určitých časových úsecích. Je tedy zřejmé, že inokulace v mnoha případech nemusí vést ke stimulaci růstu sazenic a její vliv se může v průběhu času měnit. Rhizomorfy václavky byly v naší studii přítomné na smrkových sazenicích 3,5 roku po inokulaci ektomykorhizními houbami u všech variant ošetření, vždy se jednalo o václavku smrkovou a rozdíl mezi variantami nebyly statisticky významné. V ostatních studiích byla z václavky ve smrkových porostech v Česku rovněž nejčastěji nalézána v. smrková (JANKOVSKÝ 2003; HOLUŠA et al. 2018). Četný výskyt václavky smrkové v naší studii pravděpodobně souvisel se složením porostu (smrková monokultura), extrémně teplým a suchým obdobím v letech 2015–2019 (ČHMÚ 2022) a nízkým půdním pH (tab. 4). Souvislost vyššího výskytu václavky se suchem a nízkým půdním pH u smrku ztepilého uvádějí rovněž LINDNER et al. (2008) a HOLUŠA et al. (2018). V předchozí studii 1,5 roku po inokulaci byly rovněž všechny rhizomorfy identifikovány jako václavka smrková, avšak přítomné byly pouze na smrkových sazenicích varianty KONTROLA a tyto rozdíl byly statisticky významné (LORENC et al. 2021). Rozdíly mezi inokulovanými a neinokulovanými sazenicemi mohou z důvodu kolonizace sazenic přirozeně se vyskytujícími ektomykorhizními houbami v půdě v průběhu času kolísat (CASTELLANO 1996; GRYNLER et al. 2004; REPÁČ 2007) nebo nemusí být vůbec patrné (MALTZ, TRESEDER 2015; REPÁČ, SENDECKÝ 2018; REPÁČ et al. 2022). Dva roky po inokulaci byl nižší počet rhizomorfů zaznamenán u sazenic smrku ztepilého a jedle bělokoré oproti neinokulovaným sazenicím, zatímco u buku lesního se rhizomorfy václavky nacházely na inokulovaných i neinokulovaných sazenicích (TUČEKOVÁ et al. 2009). Tři roky po výsadbě s inokulací bylo syroccium václavky zaznamenáno na jedné inokulované a třech neinokulovaných sazenicích smrku ztepilého (PEŠKOVÁ, TUMA 2010). Osm let po výsadbě s inokulací byla u borovice lesní nejnižší mortalita v souvislosti s napadením václavkou zaznamenána u krytokořených sazenic inokulovaných slizivkou oprahlou (*Hebeloma crustuliniforme* [Bull.] Quél.); vzájemně podobnou míru napadení václavkami vykazovaly krytokořenné sazenice inokulované lakovkou dvoubarvou (*Laccaria bicolor* [Maire] P.D. Orton) a krytokořenné neinokulované sazenice; nejvíce napadené václavkou byly prostokořenné neinokulované sazenice (KOWALSKI, WOJNOWSKI 2009). Umělá inokulace vhodnými mykorhizními houbami tedy může pomoci sazenicím odolávat infekčnímu tlaku václavky, ale důležitou roli hraje také způsob pěstování sazenic či blízkost infikovaných pařezů z předchozího porostu (KOWALSKI, WOJNOWSKI 2009). V případě silného infekčního tlaku václavky mohou být inokulované sazenice stejně postižené jako neinokulované sazenice (KOWALSKI, WOJNOWSKI 2009), což může vysvětlovat nevýznamné rozdíly v napadení václavkou smrkovou v naší studii.

Koncentrace živin se v naší studii mezi variantami ošetření nejvíce lišila u  $P_{av}$  (nejnižší INOKULACE) (tab. 4). V naší studii byly oproti předchozímu měření (LORENC et al. 2021 – 100 %) nejrozdílnější koncentrace  $P_{av}$  (INOKULACE 63%, INOKULACE + HNOJENÍ 17 %, KONTROLA 51 %) a  $Fe_{av}$  (INOKULACE 22 %, INOKULACE + HNOJENÍ 31 %, KONTROLA 15 %). Nicméně žádný jednoznačný vliv živin v půdě na ujmavost, růstové charakteristiky sazenic ani napadení václavkami nebyl v naší práci zaznamenán.

## ZÁVĚR

V naší studii vykazovaly sazenice smrku ztepilého 3,5 roku po inokulaci srovnatelné napadení václavkou smrkovou jako neinokulované sazenice. Došlo tedy k setření rozdílů oproti období 1,5 roku po inokulaci, kdy byly napadeny pouze neinokulované smrkové sazenice (LORENC et al. 2021). Inokulace zpravidla nepůsobí na sazenice negativně. Pozitivní vliv inokulace na ujmavost, růst sazenic ani na jejich schopnost odolávat infekčnímu tlaku václavky se však nemusí projevit a může se v průběhu času významně měnit. Důležitou roli pravděpodobně hraje síla infekčního tlaku václavky, postupné snižování vlivu inokulace v důsledku kolonizace přirozeně se vyskytujících mykorhizních hub na stanovišti a negativní vliv hnojiv a fungicidů na ektomykorhizní houby.

### Poděkování:

Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE – RO0118. Autoři děkují také Ing. Josefu Nephlechovi a Ing. Janu Adamovovi za zajištění terénních prací a Janě Fojtíkové a Ing. Radku Novotnému, Ph.D. za pomoc s laboratorními pracemi.

## LITERATURA

- CASTELLANO M.A. 1996. Outplanting performance of mycorrhizal inoculated seedlings. In: Mukerji K.G. (ed.): Concepts in mycorrhizal research. Dordrecht, Kluwer: 223–301.
- CENIA 2010–2019. Národní geoportál INSPIRE [online]. CENIA, česká informační agentura životního prostředí [cit. 2022-02-24]. Dostupné na/Available on: [www: https://geoportál.gov.cz/web/guest/home](http://www.geoportál.gov.cz/web/guest/home).
- ČERNÝ A. 1988. Parazitické dřevokazné houby. Praha, Státní zemědělské nakladatelství: 104 s.
- ČHMÚ 2022. Portál ČHMÚ [online]. Český hydrometeorologický ústav [cit. 2022-02-24]. Dostupné na/Available on: <http://portal.chmi.cz/>.
- DÁLYA L.B., SEDLÁK P. 2020. Prevalence of major wood-decay Agaricomycetes in artificial, managed near-natural and undisturbed forests of South Moravia, Czechia. Forest Pathology, 50 (5): e12636. DOI: 10.1111/efp.12636
- EGHBALTALAB M., GAY G., BRUCHET G. 1975. Antagonisme entre 15 espèces de Basidio-mycètes et 3 champignons pathogènes de racines d'arbres. Bulletin Mensuel de la Société Linnéenne de Lyon, 44 (7): 203–229. Dostupné na/Available on: <http://www.linneenne-lyon.org/depot/5560.pdf>
- FINI A., FERRINI F., SERI M., AMOROSO G., PIATTI R., ROBBIANI E., FRANGI P. 2016. Effect of fertilization and mycorrhizal inoculation in the nursery on post-transplant growth and physiology in three ornamental woody species. In: Groening G. et al. (eds.): 29th International Horticultural Congress on Horticulture. Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014). Acta Horticulturae (ISHS), 1108: 47–54.
- 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 (3): 221–228. DOI: 10.1016/S0378-1127(97)00105-9

- GRYNDLER M., BALÁŽ M., HRŠELOVÁ H., JANSÁ J., VOSÁTKO M. 2004. Mykorrhizní symbióza, o soužití hub s kořeny rostlin. Praha, Academia: 366 s.
- GUILLAUMIN J.-J., MOHAMMED C., ANSELMINI N., COURTECUISE R., GREGORY S.C., HOLDENRIEDER O., INTINI M., LUNG B., MARXMÜLLER H., MORRISON D., RISHBET J., TERMORSHUIZEN A.J., TIRRÓ A., VAN DAM B. 1993. Geographical distribution and ecology of the *Armillaria* species in western Europe. *European Journal of Forest Pathology*, 23(6–7): 321–341. DOI: 10.1111/j.1439-0329.1993.tb00814.x
- 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 (4): 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 (4): 519–526. DOI: 10.18054/pb.2015.117.4.3839
- HOLUŠA J., LUBOJACKÝ J., ČURN V., TONKA T., LUKÁŠOVÁ K., HORÁK J. 2018. Combined effects of drought stress and *Armillaria* infection on tree mortality in Norway spruce plantations. *Forest Ecology and Management*, 427 (1): 434–445. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.01.031
- CHEN L., BÓKA B., KEDVES O., NAGY V.D., SZŰCS A., CHAMPARAMARY S., ROSZIK R., PATOCSKAI Z., MÜNSTERKÖTTER M., HUYNH T., INDIC B., VÁGVÖLGYI C., SIPOS G., KREDICS L. 2019. Towards the biological control of devastating forest pathogens from the genus *Armillaria*. *Forests*, 10 (11): 1013. DOI: 10.3390/f10111013
- INDEX FUNGORUM 2022. Index Fungorum [online]. Royal Botanic Gardens Kew, Landcare Research-NZ, Chinese Academy of Science [cit. 2022-02-24]. Dostupné na/Available on: www.indexfungorum.org
- JANKOVSKÝ L. 2003. Distribution and ecology of *Armillaria* species in some habitats of southern Moravia, Czech Republic. *Czech Mycology*, 55 (3–4): 173–186. DOI: 10.33585/cmy.55303
- KAUSERUD H., SCHUMACHER T. 2001. Outcrossing or inbreeding: DNA markers provide evidence for type of reproductive mode in *Phellinus nigrolimitatus* (Basidiomycota). *Mycological Research*, 105 (6): 676–683. DOI: 10.1017/S0953756201004191
- KOWALSKI S., WOJNOWSKI L. 2009. Dynamika rozwoju opienkowej zgnilizny korzeni w uprawie doswiadczalnej z sadzonkami sosny zwyczajnej [*Pinus sylvestris* L.] niemikoryzowanymi i mikoryzowanymi grzybami *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor*. *Sylwan*, 153 (1): 31–38. DOI: 10.26202/sylwan.2008104
- LINDNER M., GARCIA-GONZALO J., KOLSTRÖM M., GREEN T., REGUERA R., MAROSCHEK M., SEIDL R., LEXER M. J., NETHERER S., SCHOPF A., KREMER A., DELZON S., BARBATI A., MARCHETTI M., CORONA P. 2008. Impact of climate change of European forests and options for adaptation. Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development: 173 s.
- LORENC F., NOVOTNÝ R. 2020. Vliv živin v půdě na úspěšnost umělé inokulace ektomykorrhizními houbami u sazenic dubu letního (*Quercus robur* L.). *Zprávy lesnického výzkumu*, 65 (1): 50–56. Dostupné na/Available on: https://www.vulhm.cz/files/uploads/2020/04/586.pdf
- LORENC F., LUBOJACKÝ J., TONKA T. 2021. Influence of mycorrhizal preparation on seedling growth and *Armillaria* infestation. *Journal of Forest Science*, 67 (4): 155–164. DOI: 10.17221/198/2020-JFS
- MALTZ M.R., TRESEDER K.K. 2015. Sources of inocula influence mycorrhizal colonization of plants in restoration projects: a meta-analysis. *Restoration Ecology*, 23 (5): 625–634. DOI: https://doi.org/10.1111/rec.12231
- MEJSTŘÍK V. 1988. Mykorrhizní symbiózy. Praha, Academia: 152 s.
- MODI D., SIMARD S., BÉRUBÉ J., LAVKULICH L., HAMELIN R., GRAYSTON S.J. 2020. Long-term effects of stump removal and tree species composition on the diversity and structure of soil fungal communities. *FEMS Microbiology Ecology*, 96 (5): fiae061. DOI: 10.1093/femsec/fiae061
- MORRISON D.J., CRUICKSHANK M.G., LALUMIČRE A. 2014. Control of laminated and *Armillaria* root diseases by stump removal and tree species mixtures: Amount and cause of mortality and impact on yield after 40 years. *Forest Ecology and Management*, 319: 75–98. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.02.007
- 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 (1): 65–73. DOI: 10.1093/treephys/24.1.65
- PERCIVAL G.C., SMILEY E.T., FOX R.T. 2011. Root collar excavation with *Trichoderma* inoculations as a potential management strategy for honey fungus (*Armillaria mellea* A.). *Arboricultural Journal*, 33 (4): 267–280. DOI: 10.1080/03071375.2011.9747617
- PEŠKOVÁ V., SOUKUP F. 2006. Houby vázané na kořenové systémy: metodické přístupy ke studiu: review. *Zprávy lesnického výzkumu*, 51 (4): 279–286. Dostupné na/Available on: https://www.vulhm.cz/files/uploads/2019/03/zlv\_2006\_04.pdf
- PEŠKOVÁ V., TUMA M. 2010. Ověření vlivu mykorrhizního preparátu na růst a vývoj smrkových sazenic na LS Jablunkov. *Zprávy lesnického výzkumu*, 55 (3): 211–220. Dostupné na/Available on: https://www.vulhm.cz/files/uploads/2010/07/Pe%C5%A1kov%C3%A1-3-2010.pdf
- PETERSON R.L., MASSIACOTTE H.B., MELVILLE L.H. 2004. Mycorrhizas: anatomy and cell biology. Ottawa, National Research Council of Canada: 173 s.
- POLICELLI N., HORTON T.R., HUDON A.T., PATTERSON, T.R., BHATNAGAR J.M. 2020. Back to roots: The role of ectomycorrhizal fungi in boreal and temperate forest restoration. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3: 97. DOI: 10.3389/ffgc.2020.00097
- POREBSKI S., BAILEY L.G., BAUM B.R. 1997. Modification of a CTAB DNA extraction protocol for plants containing high polysaccharide and polyphenol components. *Plant Molecular Biology Reporter*, 15 (1): 8–15. DOI: 10.1007/BF02772108
- REES H.J., BASHIR N., DRAKULIC J., CROMEY M.G., BAILEY A.M., FOSTER G.D. 2021. Identification of native endophytic *Trichoderma* spp. for investigation of *in vitro* antagonism towards *Armillaria mellea* using synthetic—and plant—based substrates. *Journal of Applied Microbiology*, 131 (1): 392–403. DOI: 10.1111/jam.14938
- REPÁČ I. 2007. Ectomycorrhiza formation and growth of *Picea abies* seedlings inoculated with alginate-bead fungal inoculum in peat and bark compost substrates. *Forestry*, 80: 517–530 DOI: 10.1093/forestry/cpm036

- REPÁČ I., TUČEKOVÁ I., SARVAŠOVÁ I., VENCURIK J. 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. DOI: 10.17221/130/2010-JFS
- REPÁČ I., SENDECKÝ M. 2018. Response of juvenile Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) to ectomycorrhizal inoculation of perlite-peat substrates in a nursery. *Journal of Sustainable Forestry*, 37(8): 771–786. DOI: 10.1080/10549811.2018.1485583
- REPÁČ I., BELKO M., KRAJMEROVÁ D., PAULE L. 2021. Planting time, stocktype and additive effects on the development of spruce and pine plantations in Western Carpathian Mts. *New Forests*, 52 (3): 449–472. DOI: 10.1007/s11056-020-09804-3
- REPÁČ I., PAROBEKOVÁ Z., BELKO M. 2022. Ectomycorrhiza-hydrogel additive enhanced growth of Norway spruce seedlings in a nutrient-poor peat substrate. *Journal of Forest Science*, 68: 170–181. DOI: 10.17221/29/2022-JFS
- SIEROTA Z., GRODZKI W. 2020. *Picea abies*–*Armillaria*–*Ips*: A strategy or coincidence? *Forests*, 11 (9): 1023. DOI: 10.3390/f11091023.
- SMAILL S.J., WALBERT K. 2013. Fertilizer and fungicide use increases the abundance of less beneficial ectomycorrhizal species in a seedling nursery. *Applied Soil Ecology*, 65: 60–64. DOI: 10.1016/j.apsoil.2013.01.007
- SOUKUP F. 2005. *Armillaria ostoyae* (Romagn.) Herink václavka smrková. *Lesnická práce*, 84 (10): příloha I–IV. Dostupné na/Available on: [http://www.silvarium.cz/images/letak-los/2005/2005\\_armillaria.pdf](http://www.silvarium.cz/images/letak-los/2005/2005_armillaria.pdf)
- TUČEKOVÁ A., LONGAUEROVÁ V., LEONTOVÝČ R. 2009. Poznatky z testovania mykorhizovaného preparátu Vambac na smreku (*Picea abies* L.) v oblasti s dlhodobou zvýšeným stavom *Armillaria* sp. In: *Mykorhiza v lesích a možnosti její podpory*. Sborník referátů. 15.–16. dubna 2009, Frýdek-Místek. Praha, Česká lesnická společnost: 52–58.



## INFLUENCE OF MYCORRHIZAL PREPARATION AND FERTILIZER ON GROWTH AND HONEY FUNGUS INFESTATION OF NORWAY SPRUCE SEEDLINGS

### SUMMARY

Honey fungus belongs to the most significant important pathogens in European forests in the long term. Non-native spruce monocultures on sites with compacted soil, with a lack of nutrients, low pH values, stressed by high temperatures and soil drought are the most susceptible to infection of the honey fungus. Artificial inoculation with mycorrhizal fungi (hereinafter referred to as „inoculation“) uses the principle of mycorrhizal symbiosis – mutually beneficial coexistence of plant and fungal organisms. Inoculation usually has a positive effect on seedling survival, their growth and resistance to abiotic and biotic harmful agents. However, the influence of inoculation can vary considerably in different conditions.

The aim of our study was to evaluate the influence of inoculation on seedling survival, growth and honey fungus infection of Norway spruce (*Picea abies* L. [H.] Karst.) seedlings and assess the short-term and long-term effectiveness of the inoculation.

Our study was carried out at a research site in a former spruce stand with the strong infection level of *Armillaria ostoyae* (Romagn.) Herink. Spruce seedlings were planted on the site in spring 2018. Before planting, 2/3 of the seedlings were inoculated with the mycorrhizal preparation Ectovit<sup>®</sup> containing ectomycorrhizal fungi (INOCULATION). Half of the inoculated seedling were also treated by Conavit<sup>®</sup> fertilizer (INOCULATION + FERTILIZATION). A third of all seedlings remained untreated (CONTROL) (Tab. 1). In autumn 2021 (3.5 years after planting and treatment), 100 seedlings/treatment (300 seedlings in total) were evaluated for seedling survival percentage, and growth characteristics, and 10 live seedlings/treatment (30 seedlings in total) were sampled to evaluate dry weight and the number of seedlings with *Armillaria* rhizomorphs. By relating these values to the previous evaluation (autumn 2019), values for period autumn 2019 – autumn 2021 were obtained for statistical analyses. Identification of the *Armillaria* species was carried on rhizomorph samples detected on sampled seedlings by DNA isolation by the CTAB-PVP method, PCR using primers EF1160F/EF1750R and sequencing. Mixed soil samples were prepared from the root balls of sampled seedlings for soil analyses.

Increment of the seedling height, increment of the root collar diameter, and increment of the seedling aboveground dry weight were significantly higher in INOCULATION compared to INOCULATION + FERTILIZATION, the first and second named variables were also significantly higher in INOCULATION compared to CONTROL (Tab. 2 and 3). Seedling survival percentage as well as number of seedlings with *Armillaria* rhizomorphs were not significantly different between the treatments (Tab. 2 and 3). All rhizomorphs were identified as *Armillaria ostoyae* [Romagn.] Herink). Concentrations of nutrients in the mixed soil samples differed the most for phosphorus in available form ( $P_{av}$ ): it was markedly lower in INOCULATION (Tab. 4).

In previous studies, seedling survival percentage was influenced by inoculation mostly positively, this effect was not manifested in strongly unfavourable weather conditions (especially drought). Growth characteristics were influenced by inoculation significantly positively in some studies, but insignificantly in other studies, or the influence was varied over time and, where an important role played used inoculum, climatic events, microclimatic conditions and negative effect of fungicides and fertilization. In a previous related study (1.5 year after inoculation), infection of seedlings by honey fungus (in all cases identified as *A. ostoyae*) was recorded in CONTROL Norway spruce seedlings only and the differences between treatments were significant (LORENC et al. 2021). Therefore, influence of inoculation on seedling survival, growth and infection by honey fungus can significantly vary over time. Honey fungus infection pressure level, gradually reduction of artificial inoculation effect due to the colonization by naturally occurring mycorrhizal fungi in the site and negative effect of fertilization on ectomycorrhizal fungi probably play important roles in this phenomenon.

Zasláno/Received: 30. 08. 2022

Přijato do tisku/Accepted: 08. 11. 2022