

VLIV SPECIFICKÉHO TŘÍDĚNÍ SEMENÁČKŮ SMRKU NA RŮST A GENETICKOU DIVERZITU VÝSADEB V EXTRÉMNÍCH HORSKÝCH PODMÍNKÁCH

THE INFLUENCE OF SPECIFIC SORTING OF SPRUCE SEEDLINGS ON GROWTH AND GENETIC DIVERSITY OF PLANTINGS UNDER EXTREME MOUNTAIN CONDITIONS

ONDŘEJ IVANEK¹⁾ - JAN LEUGNER²⁾ - ANTONÍN JURÁSEK²⁾

¹⁾Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady

²⁾Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno

ABSTRACT

The growth and genetic features of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) plants which showed various intensity of juvenile growth were assessed in a research plot in the Krkonoše Mts. Use of one-dimensional horizontal electrophoresis on the starch gel, G-6-PDH, GDH, SDH-A, PGM-A, MDH-B, MDH-C, IDH-B, AAT-A, AAT-B and AAT-C isozyme loci was studied. Numbers of alleles per locus, observed heterozygosity were evaluated and Shannon and Rao indices of genetic diversity were calculated. The highest genetic diversity was found for AAT-C locus, the lowest one for the PGM-A, MDH-B, AAT-A and AAT-B loci for all of the spruce variants. With the aid of Monte Carlo test significant differences were found at Norway spruce variants with different growth and growth rate for the G-6-PDH and SDH-A loci. Spruces characterized by slow growth in nursery, which would have been rejected in common nursery sorting, had the best height and diameter growth after 17 years on extreme mountain site. They showed also a very good ability to cope with extreme mountain conditions as there were proved also the good slenderness ratio and greater genetic diversity of these plants in comparison with formerly fast-growing spruces in nursery and with common plantation.

Klíčová slova: genetická struktura, isoenzymová analýza, *Picea abies* (L.) KARSTEN, růstové charakteristiky

Key words: genetic structure, isozyme analyse, *Picea abies* (L.) KARSTEN, growth characteristics

ÚVOD

Semenáčky smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) KARST.) pocházející z osiva z vyšších horských poloh vykazují v prvních letech růstu větší výškovou variabilitu v porovnání s populacemi původem z nižších poloh. V minulých letech jsme ověřovali předpoklad, že právě jedinci s pomalejším růstem v juvenilním stadiu vykazují po výsadbě na extrémní horská stanoviště výbornou adaptabilitu a zřejmě budou tvořit klimaxovou část obnovovaných porostů (JURÁSEK et al. 2009). Jedná se pravděpodobně o jedince, kteří jsou schopni přežít extrémní klimatické výkyvy, ke kterým může docházet i jednou za několik desítek let (LANG 1989). Tento názor podporuje i skutečnost, že výška nadzemních částí smrkových semenáčků klesá se stoupající nadmořskou výškou původu (MODRZYNSKI 1995; KOTRLA 1998).

Rozdíly v intenzitě a dynamice růstu se projevují i při pěstování semenáčků v konstantních podmínkách (HOLZER 1985; HOLZER et al. 1987). Růstové rozdíly mezi populacemi smrku pocházejícími z různých nadmořské výšky a pěstovanými ve stejném prostředí jsou nejvýraznější v prvních letech života semenáčků (HOLZER 1985; QAMARUDDIN et al. 1995). Nižší intenzita růstu horských populací smrku je dávana do souvislosti s jejich zvýšenou adaptací k nepříznivým horským podmínkám (OLEKSYN et al. 1998).

Po řadu let byli při běžném způsobu třídění pomalu rostoucí jedinci ve školkách vyřazováni (vzhledem k svému malému vzrůstu) do výmětu a v obnově lesa byli uplatňováni pouze jedinci s intenzivnějším růstem. Vzhledem k výrazným škodám objevujícím se v posledních letech v mladých porostech v horských polohách nabývá na aktuálnosti otázka, zdali budou rozsáhlé plochy v horských imisních oblastech, obnovované v 80. a 90. letech minulého století, schopné odolávat extrémním horským podmínkám. V současné době existuje celá řada provozních výsadeb horského smrku, kde chybí, vzhledem k běžným postupům třídění ve školkách, část růstového spektra pěstovaných odřelů sazenic.

Na výzkumné ploše Pláň, založené před 17 lety specificky tříděným sadebním materiálem se zvláštním zřetelem na pomalu rostoucí jedince, jsou sledovány fyziologické, genetické a morfologické charakteristiky, včetně podrobného hodnocení zdravotního stavu. Cílem je posouzení významu spektra jedinců smrku ztepilého s různou intenzitou juvenilního růstu pro stabilitu a úspěšný vývoj porostů zakládáných v horských podmínkách a posouzení rizika destrukce porostů při nevhodném třídění semenáčků ve školce. Výsledky mohou sloužit k vytipování jedinců v mladých porostech smrku ztepilého, majících předpoklady pro vytvoření stabilní kostry se zvýšenou odolností k extrémním horským podmínkám.

Jednou z metod, kterou se dokumentuje genetická variabilita populací lesních dřevin na molekulární úrovni, je isoenzymová analýza. Genetická struktura populace je tak popisována pomocí zvolené sady markerů, které jsou představovány vybranými enzymatickými systémy. Genetická variabilita populace dané dřeviny je výslednicí genotypové skladby porostu v době jeho přirozené obnovy či umělého založení, dále selekčního působení stanovištních faktorů na přežívání jedinců (z přirozených např. klima, geologické, pedochemické poměry, z antropogenních např. imisní zátěž), které ovlivňují selekci různých genotypů v rámci druhu. Dále je dána výslednou druhovou skladbou a výchovnými, případně obnovními zásahy v porostu.

Porovnáním genetické struktury horských lesů vzniklých přirozenou a umělou obnovou pomocí izoenzymových analýz zjistil například GÖMÖRY (1992) u uměle založených porostů z autochtonního materiálu významné zúžení genetické struktury. Zásadní otázkou při pěstování sadebního materiálu pro horské oblasti je použití takových technologií, aby bylo zúžení genetického spektra minimalizováno.

Příspěvek představuje vyhodnocení genetických charakteristik 3 velikostních variant smrků ve srovnání s fyziologickými a morfologickými parametry a ve vztahu k jejich adaptabilitě na extrémní horské podmínky.

Tab. 1.
Sledované enzymatické systémy a lokusy
Assessed enzymes systems and loci

Enzym/Locus	Zkratka/Code
Glukózo-6-fosfátdehydrogenáza	G-6-PDH
Glutamátdehydrogenáza	GDH
Šikimátdehydrogenáza - A	SDH-A
Fosfoglukomutáza - A	PGM-A
Malátdehydrogenáza - B, C	MDH-B MDH-C
Isocitrátdehydrogenáza - B	IDH-B
Aspartátaminotransferáza - A, B, C	AAT-A AAT-B AAT-C

Tab. 2.
Vybrané genetické charakteristiky variant „malé“, „velké“ a „kontrola“ z výzkumné plochy Pláň
Genetic features of treatments „small“, „large“, and „control“ – Pláň research plot

Enzym/Locus	Numer of allele/locus			Heterozygotnost		
	Malé/Small	Velké/Large	Kontrola/Control	Malé/Small	Velké/Large	Kontrola/Control
Počet vzorků ¹	95	99	83	95	99	83
G6PDH	2	2	2	0,0842	0,1034	0,0263
GDH	2	2	2	0,0435	0,0244	0,0253
SDH_A	4	4	4	0,0632	0,0408	0,1098
PGM_A	1	2	2	0	0,0102	0,0127
MDH_B	1	2	1	0	0,0101	0
MDH_C	2	1	2	0,0421	0	0,0122
IDH_B	2	2	1	0,0105	0,0101	0
AAT_A	2	2	2	0,0105	0,0101	0,0123
AAT_B	1	1	1	0	0	0
AAT_C	2	2	3	0,4409	0,5495	0,5556
Celkový počet alel ²	19	20	20			
Počet tříd diverzity ³	17	13	14			
H	2,8208	2,4009	2,4796			
R	0,0648	0,0517	0,0558			

Captions: ¹number of samples; ²total number of alleles; ³total number of diversity classes

MATERIÁL A METODIKA

Výzkumná plocha (VP) „Pláň“ byla založena v roce 1994 na severním svahu Stohu v Krkonoších (HS 73, SLT 8K, nadmořská výška 1 100 m, rozloha holiny ca 2 ha). Jedním z cílů bylo sledování vlivu specifického třídění ve školce na růst a stabilitu výsadby horských populací smrku ztepilého. Pro výsadbu byly použity sazenice vypěstované ze specificky tříděných semenáčků krkonošského původu. V roce 1992, před školkováním, byly dvouleté semenáčky pocházející z 8. lesního vegetačního stupně (LVS) (B/SM/0001/22/8/TU) rozděleny do 3 velikostních kategorií: menší než 8 cm (varianta „malé“), 8 až 15 cm („střední“) a 15 až 22 cm („velké“). Na horskou holinu byly vysazeny po dopěstování jako 4leté sazenice (2+2). Jako kontrolní varianty byly do experimentu zahrnuty také dvě provozní výsadby. První z nich, která je stejného věku, přímo navazuje na experimentální plochy (označena „kontrola A“). Druhá výsadba je vzdálena cca 500 m od VP a nachází se v nadmořské výšce 1 150 m (označena kontrola „B“). Tyto provozní plochy byly založeny sadebním materiálem (původ dle dokumentace je krkonošský (PLO 22 z 8. LVS), který byl tříděn podle obvyklých kritérií (pomalu rostoucí semenáčky byly vyřazovány).

Isoenzymové analýzy

U vzorků odebraných v roce 2009 a 2010 byly vyhodnoceny isoenzymové analýzy pro 277 stromů odpovídajících celkovému počtu jedinců na hodnocených dílčích plochách ve variantách „malé“ (95 vzorků), „velké“ (99 vzorků) a „kontrola“ (83 vzorků). Odběr a měření byly v obou letech opakovány. Z odebraných větví byly získány dormantní pupeny, které byly homogenizovány a následně analyzovány s využitím jednorozměrné horizontální elektroforézy na škrobovém gelu v tris-citrátovém pufracím systému za pomoci aparatury Multiphor II fy Pharmacia Biotech. Všechny gely byly skenovány v programu ImageMaster. Získané zymogramy byly vyhodnoceny na bázi elektroforetické mobility pro alelické páry 10 polymorfních lokusů (tab. 1). Data byla vizuálně vyhodnocena a archivována pro další zpracování s využitím specializovaných programů IsoEnz a SeqAn (www.infodatasy.cz/software).

Terénní šertření

Na výzkumné ploše Pláň a v kontrolních porostech se uskutečnilo měření růstových charakteristik (výškový a tloušťkový růst $-d_{1,3}$).

Detailní terénní hodnocení zdravotního stavu smrků (defoliace, barevné změny jehličí, tvarové deformace a poškození nadzemních částí), kdy bylo hodnoceno celkem 368 stromů, bylo prováděno v letech 2008 až 2010. Hodnoceny byly stejné stromy použité pro isoenzymové analýzy a také stromy varianty „střední“.

Vyhodnocení dat

Výstupní data isoenzymových analýz (programu ImageMaster) byla exportována a dále zpracovávána s využitím programů IsoEnz (MATĚJKA 2009a) a SeqAn (MATĚJKA 2009b). U sledovaných lokusů byly vyhodnoceny počty alel na lokus, alelické frekvence, hodnoty pozorované heterozygotnosti, skutečný zjištěný počet genotypových tříd (tj. počet zjištěných kombinací přítomných alelických párů pro všechny enzymy a jejich lokusy), Shannonův index H' (SHANNON, WEAVER 1949) a Rao index R (RAO 1982) modifikované pro hodnocení genetické diverzity (MATĚJKA 2009a). Pro vyhodnocení genetické diverzity je zvláště vhodný Rao koeficient, který uvažuje podobnost mezi jednotlivými genotypy.

V rámci programu IsoEnz byla nově testována statistická významnost rozdílů uvedených genetických charakteristik pomocí metody Monte Carlo, na 5% hladině významnosti.

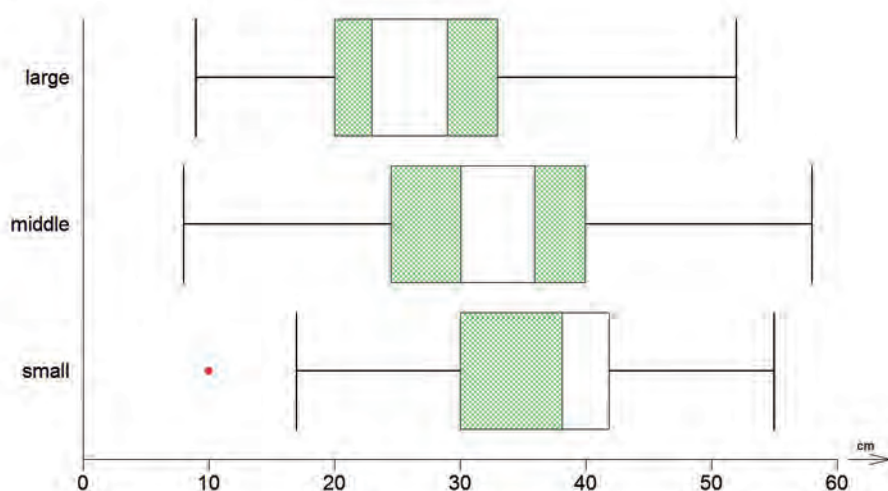
Pro zjištění významnosti vlivu původu jednotlivých variant na růstové parametry (výčetní tloušťka, výška a štíhlostní koeficient) byla provedena analýza variance (ANOVA) a následně párové porovnávání jednotlivých variant (Scheffého metodou). Pro grafické vyjádření byly použity grafy – box plots.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky isoenzymových analýz jsou uvedeny v tab 2. Z genetických charakteristik je zřejmé, že polymorfismus sledovaných lokusů, jako jeden ze základních orientačních ukazatelů genetické skladby, je u všech variant podobný. Odpovídá počtu 1 – 4 alel / lokus; celkový počet zjištěných alel se u sledovaných variant liší jen velmi málo. U všech variant lze konstatovat i nejvyšší diverzitu u lokusu AAT-C a nejnižší u lokusů PGM-A, MDH-B, AAT-A a AAT-B. U varianty „velké“ a „kontrola“ se nízkým stupněm diverzity vyznačuje též lokus MDH-C. U všech variant byla zjištěna přítomnost vzácné alely na lokusu AAT-A (tab. 2). Tato alela byla (v rámci početného souboru porostů a populací smrku ztepilého, sledovaného Laboratoří isoenzymových analýz VÚLHM) zjištěna dále jen u populace smrku ztepilého v oblasti Sněžky poblíž horní hranice lesa (IVANEK et al. 2009).

Zjištěné hodnoty heterozygotnosti, indexů diverzity H , R a počet tříd diverzity se mezi variantami liší. Pomocí testu Monte Carlo bylo zjištěno, že v případě lokusů G-6-PDH a SDH se jedná o statisticky významný rozdíl mezi variantami „velké“ a „malé“. Oba indexy diverzity, Shannonův (H) a Rao (R) indikují celkově nejvyšší genetickou diverzitu u varianty „malé“ a nejnižší u varianty „velké“. V případě rozdílu diverzity, charakterizovaného pomocí indexu R , se jedná o statisticky významný rozdíl. Indexy diverzity varianty „kontrola“ se pohybují mezi hodnotami charakteristickými pro obě krajní varianty, přičemž se více blíží hodnotám charakteristickým pro variantu „velké“. Rovněž počet tříd diverzity je nejvyšší u varianty „malé“ ve srovnání s variantami „velké“ a „kontrola“.

Uvedené výsledky ukazují, že semenáčky s pomalým růstem ve školce se vyznačují zvýšenou genetickou diverzitou jak vůči jedincům s rychlým počátečním růstem, tak i vůči kontrolní variantě. Vysoká genetická diverzita je zpravidla považována za typickou pro autochtonní porosty.

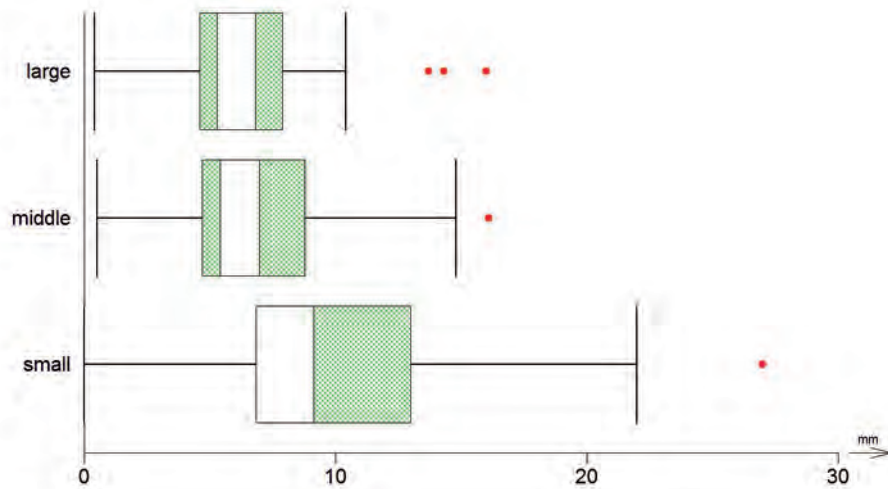


Obr. 1.

Výškový přírůst jednotlivých variant v roce 2010 na TVP Pláň (bílý obdélník znázorňuje interval spolehlivosti mediánu, zelený obdélník 25 % – 75 % kvantil, černé proužky jsou „vnitřní hrady“ dat, červený bod může představovat „odlehlou hodnotu“)

Fig. 1.

Height increment of various treatments of spruce on the Pláň research plot in 2010 (white rectangle represents the confidence interval for median, green rectangle is a 25% – 75% quantile, black stripes are non outlier range, red point may represent „outlier“)

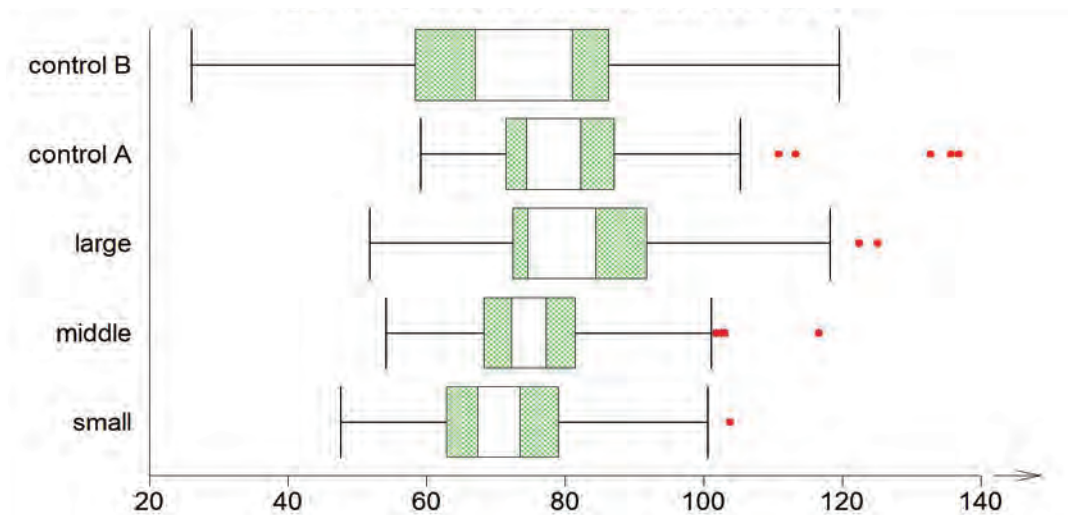


Obr. 2.

Tloušťkový přírůst jednotlivých variant v roce 2010 na TVP Pláň (bílý obdélník znázorňuje interval spolehlivosti mediánu, zelený obdélník 25 % – 75 % kvantil, černé proužky jsou „vnitřní hranby“ dat, červený bod může představovat „odlehlou hodnotu“)

Fig. 2.

Increment of DBH of various treatments of spruce on the research plot Pláň in 2010 (white rectangle represents the confidence interval for median, green rectangle is a 25% – 75% quantile, black stripes are non outlier range, red point may represent „outlier“)



Obr. 3.

Hodnoty štíhlostního koeficientu u jednotlivých variant na TVP Pláň 17 let po výsadbě (bílý obdélník znázorňuje interval spolehlivosti mediánu, zelený obdélník 25 % – 75 % kvantil, černé proužky jsou „vnitřní hranby“ dat, červený bod může představovat „odlehlou hodnotu“)

Fig. 3.

Slenderness ratio of various treatments of spruce on the Pláň research plot 17 years after outplanting (white rectangle represents the confidence interval for median, green rectangle is a 25% – 75% quantile, black stripes are non outlier range, red point may represent „outlier“)

Na experimentálních výsadbách bylo prováděno měření výškového a tloušťkového růstu smrků vypěstovaných ze semenáčků vyznačujících se různou intenzitou růstu ve školce a současně i ve čtyřech kontrolních provozně založených porostech.

Dlouhodobé sledování růstu výsadby ukázalo, že kultury založené semenáčky rostoucími ve školce pomalu a při běžném způsobu třídění vyřazovanými jako výmět („malé“) jsou v horských podmínkách vitální a velmi dobře odrůstají. Po překonání šoku z přesazení byl jejich relativní výškový i tloušťkový růst intenzivnější než u větších sazenic. Naopak sazenice z kategorie „velké“, vypěstované z předrůstavých semenáčků, po výsadbě do horských podmínek ve výškovém i tloušťkovém růstu výrazně zaostávaly. Šest let po výsadbě se počáteční statisticky průkazné rozdíly mezi jednotlivými kategoriemi zcela setřely a po dalších 4 letech již byly sazenice vypěstované z pomalu rostoucích semenáčků statisticky průkazně vyšší a silnější než sazenice vypěstované z největších semenáčků (JURÁSEK et al. 2009).

Na obr. 1 a 2 jsou uvedeny výsledky hodnocení výškového a tloušťkového přírůstu v posledním roce. Statisticky průkazně nejvyšší dynamiku výškového i tloušťkového růstu dosahuje varianta „malé“, která je tvořena jedinci s pomalým růstem v juvenilní fázi ve školce. Rozdíly mezi jednotlivými variantami se tak stále zvětšují.

U výškového přírůstu byly statisticky významné rozdíly v aktuální dynamice růstu zaznamenány mezi variantami „malé“ x „velké“ a také „střední“ x „velké“.

Statisticky významné rozdíly v dynamice tloušťkového růstu byly zaznamenány mezi variantami „malé“ x „střední“ a „malé“ x „velké“.

Základním ukazatelem statické odolnosti stromů je hodnota štíhlostního koeficientu h/d . Na obr. 3 jsou znázorněny hodnoty štíhlostního koeficientu v roce 2010.

Také z hodnot štíhlostního koeficientu v roce 2010 je patrné, že z hlediska stability mají nejpříznivější parametry jedinci varianty „malé“ a naopak nejméně příznivé stromy z varianty „velké“ (statisticky významné rozdíly byly zjištěny mezi variantami „malé“ a „velké“, a také mezi „malé“ a „kontrolou A“). V rámci tohoto měření se tedy významně prohlubuje průkaznost výsledků z předchozího sledování výsadby od jejich založení v roce 1994. Svědčí to o velmi dobré adaptabilitě části populace horského smrku rostoucí při pěstování ve školce pomaleji, což koresponduje i s poznatky jiných autorů (HOLZER 1985; OLEKSYN et al. 1998).

Výsledky hodnocení fyziologických charakteristik a zdravotního stavu výsadby na výzkumné ploše Pláň byly zpracovány a publikovány (JURÁSEK et al. 2011). Po výsadbě do extrémních horských podmínek byl u sadebního materiálu vypěstovaného z „malých“ (pomalu rostoucích) semenáčků pozorován výrazně lepší zdravotní stav (kvalitní olistění a minimální výskyt poškození kmínků a větví) a intenzivnější růst než u původně rychle rostoucích sazenic. Odolnost ke ztrátám vody a k poškození při vystavení mrazovým teplotám byla nejvyšší u smrků varianty „malé“ a snižovala se přes variantu „střední“ k nejnižší u smrků varianty „velké“. Z uvedených výsledků vyplývá velmi dobrá adaptace smrků s pomalým juvenilním růstem k extrémním horským podmínkám. Lepší odolnost k nepříznivým vlivům u populací smrku pocházejících z vyšších nadmořských výšek nebo ze severnějších oblastí v porovnání se semenáčky z nižších poloh nebo jižnějšího původu popisuje i řada dalších autorů, vyšší odolnost k mrazu například SIMPSON (1994), HAWKINS, SHEWAN (2000) a WESTIN et al. (2000), odolnost k suchu MODRZYŃSKI a ERIKSSON (2002).

Rychlý růst a větší velikost sazenic se může jevit jako výhoda z hlediska vyšší konkurenceschopnosti a zvýšení krátkodobých šancí na ujetí. Rychlý růst a velká velikost však znamená sníženou investici do obrany, nižší hustotu dřeva a mechanickou pevnost, zvýšený hydraulický od-

por, stejně jako problémy s regulací růstu v období stresu, což všechno dohromady může vést ke snížení životnosti (BIGLER, VEBLEN 2009).

Při pěstování sadebního materiálu pro vyšší horské polohy je tedy nutné používat odlišná kritéria pro třídění semenáčků a sazenic, protože vyřazování menších, pomalu rostoucích jedinců může být příčinou zúžení genetického spektra a odstranění právě těch rostlin, které jsou nejlépe přizpůsobeny růstu v extrémních horských podmínkách (HOLZER et al. 1987; LANG 1989). Svědčí o tom i vyšší genetická diverzita dílčí populace smrků vyznačujících se pomalým juvenilním růstem. Z uvedených poznatků vyplývá, že dobré předpoklady pro vznik vitálních a stabilních porostů s vysokou genetickou diverzitou zaručuje použití celého růstového spektra sadebního materiálu a zejména sazenic dopěstovaných z původně pomalu rostoucích semenáčků.

ZÁVĚR

Vyhodnocení isoenzymových analýz ukázalo, že genetická skladba a polymorfismus sledovaných lokusů je u všech variant podobný. U každé z nich byla navíc zjištěna vzácná alela u jednoho z hodnocených lokusů, charakteristická pro populaci smrku ztepilého při horní hranici lesa. To svědčí o tom, že experimentální výsadby pocházejí z kvalitního osiva z 8. LVS

U variant pokusů (výsadby) pocházejících ze semenáčků smrku s počátečním pomalým růstem byla zjištěna zvýšená genetická diverzita ve srovnání s jedinci s rychlým počátečním růstem i s kontrolní variantou.

Výsledky hodnocení zdravotního stavu, morfologických a fyziologických parametrů výsadby horského smrku s různou počáteční intenzitou růstu potvrzují původní hypotézu, že jedinci s počátečním pomalým růstem tvoří stabilní složku populačního spektra jedinců horského smrku. Výsledky hodnocení genetických charakteristik a následně i morfologických a fyziologických parametrů růstu výsadby horského smrku ukázaly dobré předpoklady pro vznik vitálních a stabilních porostů při použití celého růstového spektra sadebního materiálu a zejména sazenic dopěstovaných z původně pomalu rostoucích semenáčků.

Poděkování:

Příspěvek byl zpracován v rámci projektu NAZV QH92062.

LITERATURA

- BIGLER C., VELEBEN T. T. 2009. Increased early growth rates decrease longevities of conifers in subalpine forests. *Oikos*, 118: 1130-1138.
- GÖMÖRY D. 1992. Effect of stand origin on the genetic diversity of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) populations. *Forest Ecology and Management*, 54: 215-223.
- HAWKINS C. D. B., SHEWAN K. B. 2000. Frost hardiness, height, and dormancy of 15 short-day, nursery-treated interior spruce seed lots. *Canadian Journal of Forest Research*, 30: 1096-1105.
- HOLZER K. 1985. Die Bedeutung der Genetik für den Hochlagenwaldbau. In: Turner H., Tranquillini W. (eds.): Establishment and tending of subalpine forest. Research and management. Proceedings of the 3rd International Workshop. IUFRO project Group P 1.07-00 Ecology of subalpine zones. September 3-5, 1984, Riederalp, Switzerland. Birmensdorf, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen: 225-232. Berichte, Nr. 270.
- HOLZER K., SCHULTZE U, PELIKANOS V., MÜLLER F. 1987. Stand und Problematik der Fichten - Stecklingsvermehrung. *Österreichische Forstzeitung*, 98 (5): 12-13.
- IVANEK O., MATĚJKA K., NOVOTNÝ P. 2009. Genetická struktura dvou částí porostu smrku ztepilého při horní hranici lesa na území KR-NAP. *Zprávy lesnického výzkumu*, 54: 300-306.
- JURÁSEK A., LEUGNER J., MARTINCOVÁ J. 2009. Effect of initial height of seedlings on the growth of planting material of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) in mountain conditions. *Journal of Forest Science*, 55: 112-118.
- JURÁSEK A., LEUGNER J., MARTINCOVÁ J. 2011. Evaluation of physiological and health state of Norway spruce plants with different growth rate at juvenile stage after outplanting at mountain locations. *Journal of Forest Science*, 57: 170-177.
- KOTRLA P. 1998. Uchování a reprodukce genofondu původních populací smrku 8. lesního vegetačního stupně v Hrubém Jeseníku a Králickém Sněžníku. *Disertační práce*. Brno, MZLU: 139 s.
- LANG H.-P. 1989. Risks arising from the reduction of the genetic variability of some Alpine Norway spruce provenances by size grading. *Forestry*, 62 (Supplement): 49-52.
- MATĚJKA K. 2009a. Program IsoEnz. Databáze isoenzymových analýz. (Isoenzyme analysis database). [on-line]. [cit. 12. 11. 2011]. Dostupné na World Wide Web: http://www.infodatasy.cz/software/hlp_isoenz/isoenz.htm.
- MATĚJKA K. 2009b. Návod k programu SeqAn. Sequential data distribution analyse. [on-line]. [cit. 12. 11. 2011]. Dostupné na World Wide Web: http://www.infodatasy.cz/software/hlp_seqan/seqan.htm.
- MODRZYNSKI J. 1995. Altitudinal adaptation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) progenies indicates small role of introduced populations in the Karkonosze Mountains. *Silvae Genetica*, 44 (2-3): 70-75.
- MODRZYNSKI J., ERIKSSON G. 2002. Response of *Picea abies* populations from elevational transects in the Polish Sudety and Carpathian Mountains to simulated drought stress. *Forest Ecology and Management*, 165: 105-116.
- OLEKSYN J., MODRZYNSKI J., TJOELKER M. G., ZYTKOWIAK R., REICH P. B., KAROLEWSKI P. 1998. Growth physiology of *Picea abies* populations from elevational transects: common garden evidence for altitudinal ecotypes and cold adaptation. *Functional Ecology*, 12: 573-590.
- QAMARUDDIN M., EKBERG I., DORMLING I., CLAPHAM D., ERIKSSON G. 1995. Early effects of long nights on budset, bud dormancy and abscisic acid content in two populations of *Picea abies*. *Forest Genetics*, 2: 207-216.
- RAO C. R. 1982. Diversity and dissimilarity coefficients: a unified approach. *Theoretical Population Biology*, 21: 24-43.
- SHANNON C. E., WEAVER W. 1949. *The mathematical theory of communication*. Urbana, University of Illinois Press: 117 s.
- SIMPSON D. G. 1994. Seasonal and geographic origin effects on cold hardiness of white spruce buds, foliage, and stems. *Canadian Journal of Forest Research*, 24: 1066-1070.
- WESTIN J., SUNBLAD L. G., STRAND M., HÄLLGREN J. E. 2000. Phenotypic differences between natural and selected populations of *Picea abies*. I. Frost hardiness. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15: 489-499.

THE INFLUENCE OF SPECIFIC SORTING OF SPRUCE SEEDLINGS ON GROWTH AND GENETIC DIVERSITY OF PLANTINGS UNDER EXTREME MOUNTAIN CONDITIONS

SUMMARY

Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) seedlings grown from seed originating from high mountain locations (8th forest altitudinal zone) show higher growth variability compared to seedlings originated from lower altitude. On the north slope of the Stoh mountain in the Krkonoše Mts. (acidic site with spruce, altitude 1100 m, area ca 2 ha) the Pláň research plot was established using spruce plants specifically sorted. In 1992, before transplanting, two-year-old seedlings were sorted into 3 height grades: large (15–22 cm), middle (8–15 cm) and small (less than 8 cm). The specificity of the above-described sorting is based on the fact that seedlings smaller than 8 cm in height are usually rejected in common commercial nurseries. In our experiment these small seedlings were purposefully included in further nursery operations as a particular size group. The four-year-old transplants produced from the seedling of the particular size grades (large, middle, and small) served as a planting stock for establishment of three particular plantation treatments (termed “large”, “middle”, and “small”) on an extreme mountain forest site. The fourth supplementary treatment (called “control”, consisted of forest plantations established with the use of conventional planting stock (conventional sorting in the nursery).

Height and stem diameter growth as well as health status of spruces were regularly assessed in the treatments. Isozyme analyses of genetic diversity were realized in 2009 and 2010. Use of one-dimensional horizontal electrophoresis on the starch gel, G-6-PDH, GDH, SDH-A, PGM-A, MDH-B, MDH-C, IDH-B, AAT-A, AAT-B and AAT-C isozyme loci was studied. Numbers of alleles per locus, observed heterozygosity were evaluated and Shannon and Rao indices of genetic diversity were calculated.

The highest genetic diversity was found for AAT-C locus, the lowest one for the PGM-A, MDH-B, AAT-A and AAT-B loci for all of the spruce treatments. The spruces with the slowest growth in nursery showed greater genetic diversity (Shannon – S and Rao – R indexes) compared to the spruces from the “large” and “control” treatments. With the aid of Monte Carlo test, we found significant differences at Norway spruce variants with different growth and growth rate for the G-6-PDH and SDH-A loci (Tab. 2).

The long-term performance of plantations showed that the plants of formerly slowly-growing seedlings (“small”), which would have been rejected as culls by a current conventional sorting method, were vigorous under mountain conditions and their growth was good. Approximately in the 6th year after outplanting, the spruces from the “small” treatment caught up with the large ones (“large” treatment) in terms of height and currently they even seem to overgrow the “large” treatment. Results from the last year show the significantly highest dynamic of height and diameter growth of the “small” treatment (Fig. 1, 2). Differences among treatments increase. Slenderness ratio (Fig. 3) indicates the best stability properties of the “small” treatment and the worst stability of the “large” one.

To establish both vigorous and stable spruce stands with high genetic diversity we propose to revise common sorting approach in nurseries. Even though slowly-growing seedlings are often rejected, we have proven their ability to keep up and overgrow the formerly higher planting stock.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Jan Leugner, Ph.D, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno
Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Česká republika
tel.: 494 668 391; e-mail: leugner@vulhmop.cz