

VZCHÁZENÍ, PŘEŽÍVÁNÍ A KOŘENOVÝ SYSTÉM SEMENÁČKŮ BOROVICE LESNÍ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) PŘI RŮZNÝCH INTENZITÁCH SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ A ZÁVLAHY

EMERGENCE, SURVIVAL AND ROOT SYSTEM OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) SEEDLINGS IN DIFFERENT LIGHT INTENSITIES AND IRRIGATION REGIMES

JAN VÍTÁMVÁS  - LUKÁŠ BÍLEK - IVA ULBRICHOVÁ - VÁCLAV BAŽANT - JAROMÍRA DRESLEROVÁ - ZDENĚK VACEK

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchdol, Czech Republic

 e-mail: vitamvas@fld.czu.cz

ABSTRACT

The effect of different light conditions (100%, 50–60% and 20–30% of full light) and different irrigation regimes (480, 360, 240 and 120 mm during vegetation season) on the emergence, growth, survival and root characteristics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings of 5 Czech provenances was investigated. Full-light conditions resulted in the lowest survival rates (10–25%) across all irrigation variants, while the highest survival rates (50–70%) were found in semi-shade conditions for all considered provenances. Generally, the root lengths, shoot dry mass and root dry mass were the highest in full-light conditions, on the contrary the shoot-root ratios for both the above and below ground plant lengths (0.19–0.35 in full-light versus 0.70–0.83 in full-shade conditions; $F_{(11,108)} = 92,6$; $p < 0,001$) and dry mass (1.1–2.1 in full-light versus 3.3–4.9 in full-shade conditions; $F_{(11,108)} = 146,1$; $p < 0,001$) were the lowest. Conditions resembling shelterwood regeneration were more favourable for seedling emergence, root characteristics were more favourable in conditions simulating clear-cutting.

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

Klíčová slova: borovice lesní, provenience; stres suchem; zastínění; mortalita; nadzemní část; kořenová část

Key words: Scots pine, provenance, drought stress, shading, mortality, shoot-root ratio

ÚVOD

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) je nejrozšířenějším druhem čeledi *Pinaceae* ve světě. Tento druh se přirozeně vyskytuje v rozmanité řadě přírodních podmínek od horských lesů po stepní oblasti, od mediteránního až po kontinentální klima (REICH, OLEKSYN 2008; MATÍAS, JUMP 2012). Borovice je důležitou dřevinou na extrémních stanovištích, kde plní celou řadu zásadních ekologických funkcí (MIKESKA et al. 2008), ale je i významnou hospodářskou dřevinou, a to i mimo její přirozený areál rozšíření (HAYES et al. 1980; MARCOS et al. 2007; ZPRÁVA 2017). V různých oblastech je vysazována a pěstována pro svoji toleranci vůči stresu nezbytnou pro přežití a růst (RICHARDSON 1998) a umožňující i hospodářské využití na méně bonitních stanovištích (MASON, ALÍA 2000).

Jako pionýrská dřevina má borovice lesní vysoké nároky na světlo, a proto je její obnova v hospodářských lesích pod clonou mateřského porostu poměrně méně běžná než na holině (BÍLEK et al. 2018). Nic-

méně clonná obnova se i u této dřeviny uplatňuje stále ve větší míře, a to především jako opatření pro úsporu nákladů na obnovu lesních porostů, ale i jako adaptační opatření na probíhající klimatickou změnu (ALLEN et al. 2010; LLORET et al. 2012; CHURCHILL et al. 2013; MERLIN et al. 2015; KERN et al. 2017).

Přes velký počet vědeckých publikací zaměřených na studium fyziologických reakcí borovice lesní na podmínky prostředí existuje relativně málo prací, které by se touto reakcí zabývaly na úrovni jednotlivých proveniencí. CUNNINGHAM, HAVERBEKE (1991), GIERTYCH (1991) a SHUTYAEV, GIERTYCH (1997) např. potvrzují, že populace borovice lesní ze Sibiře mají obecně pomalejší tempo růstu než evropské populace, kdy se v klimaticky extrémnějších oblastech vyvinuly genotypy borovice lesní, které jsou lépe přizpůsobeny zejména suchu a vysokým teplotám v průběhu vegetační sezóny. V případě přenosu do jiných oblastí je však nutné počítat s vyšší mortalitou (STEPHAN, LIESENBAACH 1996), jelikož daný ekotyp nemusí být dostatečně přizpůsoben odlišným biotickým a abiotickým podmínkám. OLEKSYN

et al. (1999) dokládají vliv zeměpisné šířky původu, kdy severní a jižní populace rostly pomaleji, ale měly bohatší kořenový systém oproti centrálním populacím. BOUCHER et al. (1995) uvádějí, že výška, průměr a biomasa nadzemní a kořenové části jedinců borovice lesní se významně lišily podle dostupnosti vody, kdy např. rostliny vystavené stresu suchem měly bohatší kořenový systém.

Vedle dostupnosti vody a živin je sluneční záření další abiotický faktor prostředí, který významně ovlivňuje růst dřevin (CARTER, KLINKA 1992; COATES, BURTON 1999). Jak u světlomilných, tak i stín snášejících dřevin s přibývajícím osluněním roste množství vytvořené biomasy (MESSIER et al. 1999; MASON et al. 2004). Podrobnější porovnání druhové reakce na různé úrovně osvětlení pak může přispět k rozvoji vhodných pěstebních postupů podporujících jak strukturní, tak i druhovou rozmanitost (COATES, BURTON 1997). Zásadní je tato otázka zejména u světlomilných dřevin, které jsou v případě clonné obnovy často diskriminovány na úkor dřevin stín tolerantních. Specificky na přirozených borových stanovištích se pak lze často setkat s nezdarem clonné obnovy, přičemž identifikace hlavních příčin selhání zvoleného obnovního postupu není vždy snadná.

Cílem práce bylo proto v kontrolovaných podmínkách stanovit vliv odlišné intenzity slunečního záření a závlahy na vzcházení, růst a přežívání semenáčků pěti proveniencí borovice lesní z ČR, a to včetně posouzení kvality kořenového systému po uplynutí první vegetační sezóny. Základní hypotézy jsou: (1) jednotlivé proveniencie borovice lesní budou reagovat na zvyšující se zástín a závlahu odlišně; (2) nejvyšší růst a nejvyšší vzcháživost bude dosažena na variantě s plným osvitem a nejvyšší závlahou; (3) podíl sušiny nadzemní k podzemní části bude vyšší u variant s plným osvitem.

MATERIÁL A METODIKA

V roce 2017 byly založeny pokusy s růstem semenáčků borovice lesní v řízených podmínkách na výzkumné stanici Truba (ČZU v Praze, FLD) u Kostelce nad Černými lesy.

Semena byla použita z oblastí:

- 1) Severočeská pískovcová plošina – Česká Lípa (CZ-2-2B-BO-3052-18-2-L)
- 2) Severočeská pískovcová plošina – Mimoň (CZ-2-2B-BO-3125-18-4-V)
- 3) Západočeská pahorkatina (CZ-3-3-BO-79-6-2-P)
- 4) Jihomoravské úvaly (CZ-2-2B-BO-3128-35-1-B)
- 5) Jihočeská pánev (CZ-3-3BO-82-15-3-C)

Klíčivost semen činila 84–88 % k 31. 3. 2017 dle ČSN 48 1211 (2006).

Semena borovice lesní byla vyseta na přelomu března a dubna 2017 do plastových sadebních kontejnerů s 15 buňkami a výškou buněk 20 cm. Substrát byl připraven z rašeliny a písku v poměru 1 : 3. Výška substrátu v kontejnerech byla 19,5 cm. Do každého kontejneru bylo vyseto vždy 15 ks semen borovice lesní ve 4 opakováních. Kontejnery byly poté umístěny do sklem zastřešeného prostoru, kde byly pomocí zahradní stínící sítě vytvořeny tři varianty s odlišnými světelnými podmínkami: plný osvit (PO), polostín (PS) a stín (S) (tab. 1). Pro každou variantu světelných podmínek pak byly během vegetační doby řízenou závlahou vytvořeny čtyři varianty vláhových podmínek – plná závlaha (Z100%), mírně snížená závlaha (Z75%), střední závlaha (Z50%) a nízká závlaha (Z25%) (tab. 2). Pro jednotlivé varianty podmínek prostředí (kombinace světelných a vláhových podmínek; n = 12) bylo od každé proveniencie vyseto 60 semen (celkový počet semen pro provenienci n = 720). Po konci vegetační sezóny byly postupně odebírány rostliny z kontejnerů v rámci hodnocení kořeno-

vého systému – délka kořene (hloubka kořenové části) a nadzemní části rostliny, suchá hmotnost nadzemní a kořenové části rostliny. Pro analýzu bylo vždy pro variantu podmínek prostředí (n = 12) a provenienci (n = 5) odebráno 5 ks rostlin ve dvou opakováních. Celkový počet analyzovaných rostlin n = 300. Sušení bylo provedeno v sušárně při 70 °C do konstantní hmotnosti.

Řízená závlaha probíhala každý den ráno v 5:00 hod. Kontrola růstu rostlin se prováděla každých 7 dní od založení pokusu až do 30. 10. 2017. Byly hodnoceny počty vyklíčených rostlin, teplota, vlhkost substrátu (teplota a vlhkost substrátu byly měřeny pomocí přístroje Vernier LabQuest 2).

Statistické analýzy byly provedeny v programu Statistica 13 (© StatSoft, Tulsa). Rozdíly v délce kořenové části, délce nadzemní části, poměru délky nadzemní a kořenové části, hmotnosti kořenové části, hmotnosti nadzemní části, poměru hmotnosti nadzemní a kořenové části a mortalitě byly hodnoceny analýzou rozptylu (ANOVA) na hladině významnosti $\alpha \leq 0,05$. Následně byly rozdíly mezi jednotlivými variantami a proveniencemi hodnoceny Tukeyho HSD testem.

Tab. 1.

Hodnoty variant světelných podmínek pro vzcházení a růst semenáčků

Light conditions characterising particular variants for emergence and growth of seedlings

Varianta/ Variant	Intenzita oslunění/ Light intensity [%]	Záření/ Radiation [W/m ²] [±sd]*
Plný osvit/Full light (PO)	100	723 ± 15
Polostín/Semi-shade (PL)	50 - 60	372 ± 8
Stín/Shade (S)	20 - 30	155 ± 5

*Měřeno průběžně během celého dubna v 13. hodin bez oblačnosti/Repeated measurements during April at 1 p. m. under cloudless weather conditions.

Tab. 2.

Hodnoty variant vláhových podmínek pro vzcházení a růst semenáčků

Irrigation conditions characterising particular variants for emergence and growth of seedlings

Varianta/ Variant	Závlaha/ Irrigation [%]	Množství závlahy za vegetační dobu/Irrigation as sum for vegetation season [mm ± sd]
plná závlaha/ full irrigation (Z100%)	100	480 ± 10
mírně snížená závlaha/ reduced irrigation (Z75%)	75	360 ± 8
střední závlaha/ medium irrigation (Z50%)	50	240 ± 6
nízká závlaha/ low irrigation (Z25%)	25	120 ± 5

VÝSLEDKY

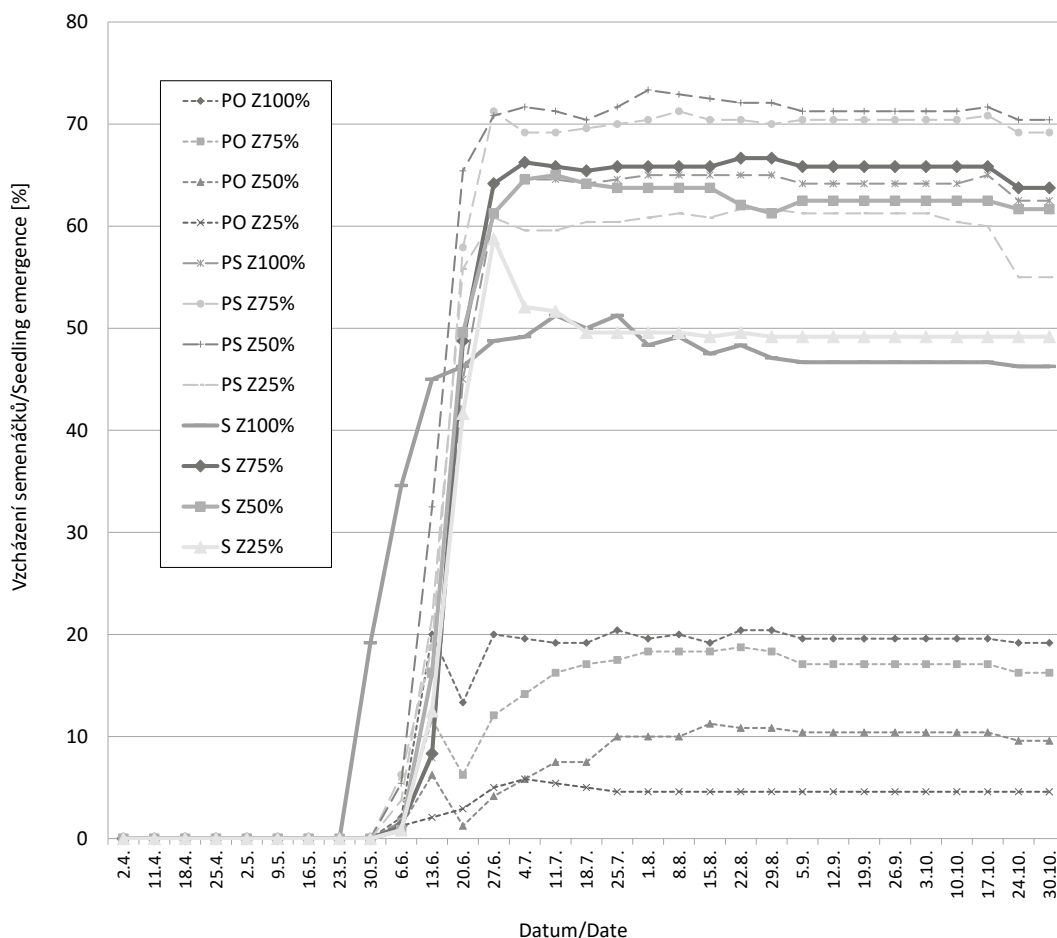
Jako první začaly klíčit rostliny ve stínu se 100% zálivkou, o 1 až 2 týdny později začala klíčit semena i u ostatních variant (obr. 1). Velká mortalita semenáčků v počátku klíčení se projevila u varianty plně osvětlené (PO), kdy v polovině června nastaly dny s vyššími teplotami za bezoblačného počasí. U varianty polostín (PS) nebyl vliv vysokých teplot na mortalitu v červnu tak vysoký, ale k vyšší mortalitě u této varianty pak docházelo v září a říjnu. Podobný průběh nastal ve stinné variantě (S), kde se ale tomuto trendu vymyká zálivka 25 %. U této varianty došlo k větší mortalitě během krátkého ochlazení v červenci, přičemž na plně osvětlené variantě (PO) se počty jedinců ještě zvyšovaly.

Velmi dobré výsledky růstu (vzcházení a přežívání) měly rostliny v podmínkách polostín (PS) se 75% nebo 50% zálivkou, kde u jednotlivých proveniencí (obr. 2) přeživalo 65–85 % rostlin (100 % odpovídá vyklíčení všech vyšetřovaných semen v sadbovačích). Vlhkost substrátu se pohybovala v rozmezí 25–35 %. Jako nejméně vhodná pro odrůstání rostlin se jeví varianta plně osvětlená (PO) s minimální závlahou 25 %, popř. 50 %, kde přeživalo na konci pokusu většinou méně než 10 %

jedinců (vlhkost substrátu byla nižší než 10 %, při dlouhotrvajících vyšších teplotách a bezoblačnosti klesala i pod 5 %).

Nejlépe přežívali jedinci z proveniencí Jihočeská pánev a Česká Lípa, a to ve většině variant zálivky a oslunění, nejvyšší mortalita byla naopak u jedinců z proveniencí Mimoň (obr. 2). Nejvýraznější rozdíly v konečném počtu semenáčků mezi proveniencemi byly ve variantách oslunění a zálivky PO Z25% ($F_{(4, 15)} = 7,7$; $p < 0,002$), PS Z50% ($F_{(4, 15)} = 14,4$; $p < 0,001$), a PS Z25% ($F_{(4, 15)} = 12,62$; $p < 0,001$). Naopak žádné statisticky významné rozdíly nebyly potvrzeny ve variantách PO Z50%, PO Z25% a S Z100%.

Při hodnocení růstu rostlin a vývoje kořenového systému se semenáčky v různých variantách oslunění a zálivky lišily (obr. 3). Jak při porovnání délky nadzemní ($F_{(11, 278)} = 53,6$; $p < 0,001$), tak i kořenové části ($F_{(11, 108)} = 59,5$; $p < 0,001$) byly zjištěny signifikantní rozdíly mezi jednotlivými variantami. Celkové průměrné délky rostlin (nadzemní a podzemní části) ve variantě plného osvětlení (PO) se pohybovaly většinou v rozmezí 27–30 cm, nejmenší délky rostlin byly pak ve variantách S Z100% (14,3 cm), PS Z100% (23,8 cm), S Z75% (24,6 cm) a S Z25% (22,8 cm).



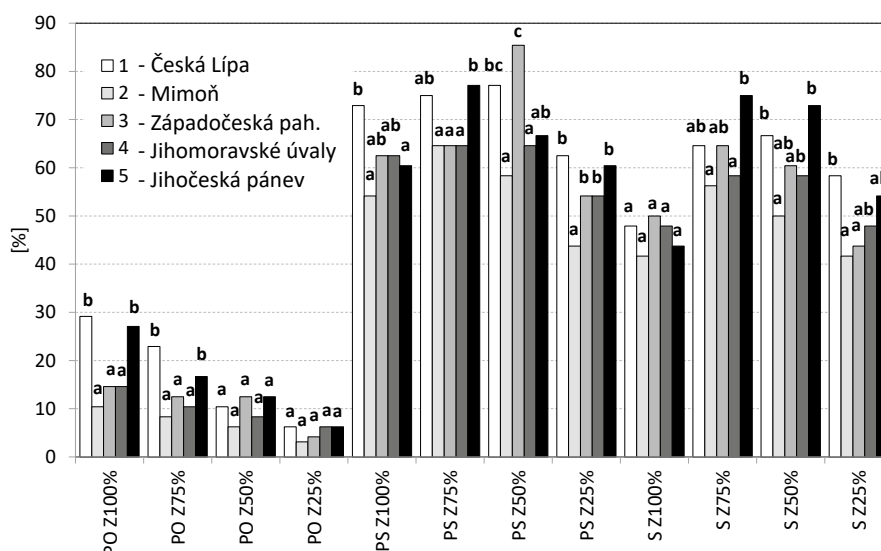
Obr. 1.

Průběh vzcházení a přežívání semenáčků borovice lesní během vegetační sezóny 2017 v závislosti na oslunění a závlaze za všechny proveniencí (PO – plný osvit, PS – polostín, S – stín, Z25% – zálivka 25%, Z50% – zálivka 50 %, Z75 % – zálivka 75 %, Z100 % – zálivka 100%)

Fig. 1.

Seedling emergence and survival during the vegetation season 2017 in relation to light and irrigation conditions as average value for all proveniences (PO – full light, PS – semi-shade, S – shade, Z25% – irrigation 25 %, Z50% – irrigation 50 %, Z75% – irrigation 75 %, Z100 % – irrigation 100 %)

VZCHÁZENÍ, PŘEŽÍVÁNÍ A KOŘENOVÝ SYSTÉM SEMENÁČKŮ BOROVICE LESNÍ
(*PINUS SYLVESTRIS* L.) PŘI RŮZNÝCH INTENZITÁCH SLUNEČNÍHO ŽÁŘENÍ A ZÁVLAHY

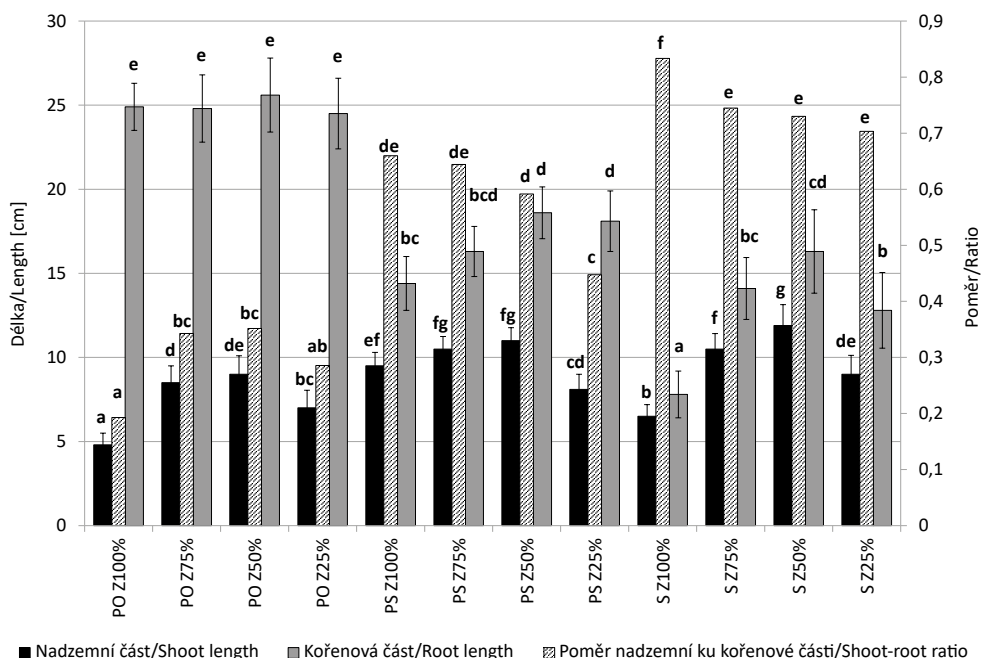


Obr. 2.

Procento životoschopných semenáčků z celkového počtu vysetých semen borovice lesní v závislosti na oslunění, závlaze a provenienci na konci vegetativního období 2017; rozdílné indexy označují statisticky významné rozdíly v rámci varianty (PO – plný osvit, PS – polostín, S – stín; Z25% – závlivka 25%, Z50% – závlivka 50%, Z75% – závlivka 75%, Z100% – závlivka 100%)

Fig. 2.

The percentage of viable seedlings calculated from initial number of seeds in relation to light and irrigation conditions at the end of the vegetation season 2017; different letters show significant differences within variants (PO – full light, PS – semi-shade, S – shade; Z25% – irrigation 25%, Z50% – irrigation 50%, Z75% – irrigation 75%, Z100% – irrigation 100%)



Obr. 3.

Velikosti nadzemní části (výška), kořenového systému (hloubka) a poměr velikostí nadzemní ke kořenové části semenáčků borovice lesní z výsevu 2017 za všechny provenience; rozdílné indexy označují statisticky významné rozdíly (PO – plný osvit, PS – polostín, S – stín; Z25% – závlivka 25%, Z50% – závlivka 50%, Z75% – závlivka 75%, Z100% – závlivka 100%; chybová úsečka – směrodatná odchylka)

Fig. 3.

Shoot size (length), root size (depth) and shoot-root ratio of Scots pine seedlings as average value for all provenances; different letters show significant differences (PO – full light, PS – semi-shade, S – shade; Z25% – irrigation 25%, Z50% – irrigation 50%, Z75% – irrigation 75%, Z100% – irrigation 100%; error bars – standard deviation)

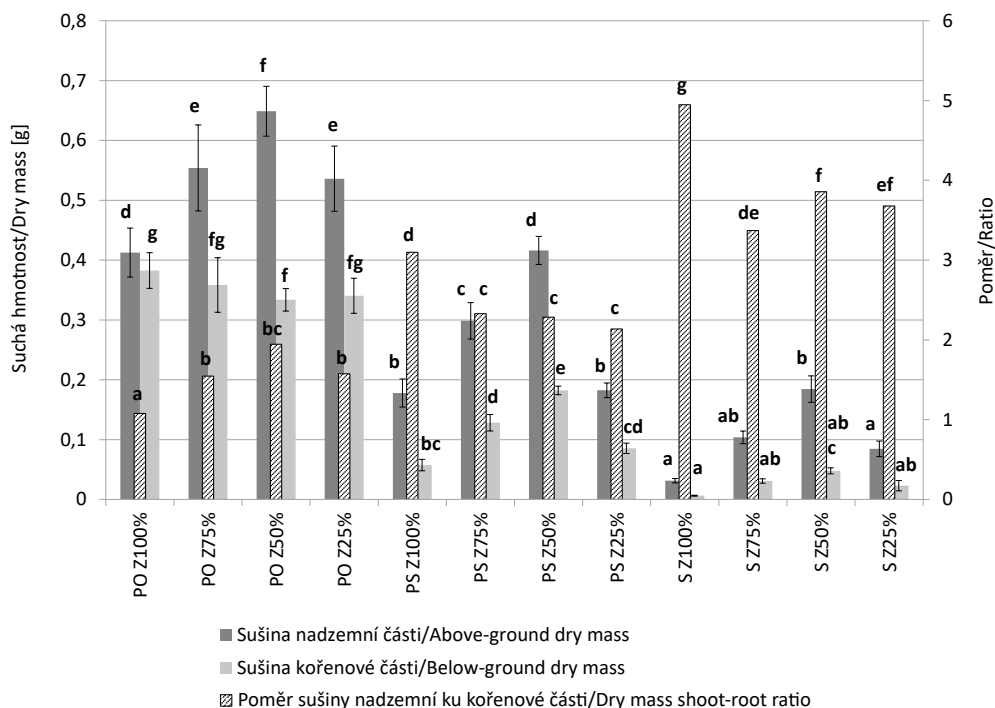
Dále byly zjištěny rozdíly v délce nadzemní části v poměru k hloubce kořenového systému semenáčků ($F_{(11, 108)} = 92,6$; $p < 0,001$), nejvýraznější rozdíly pak byly mezi variantami oslunění. U varianty plný osvit byl poměr 0,19–0,35, u varianty polostín 0,44–0,66 a u varianty stín 0,70–0,83.

Obdobně jako u délky nadzemní a kořenové části byly statisticky významné rozdíly zaznamenány i v případě sušiny (obr. 4). Jak při porovnání hmotnosti sušiny nadzemní části ($F_{(11, 126)} = 126,6$; $p < 0,001$) a kořenové části ($F_{(11, 108)} = 206,9$; $p < 0,001$), tak i poměru hmotnosti sušiny nadzemní ku kořenové části ($F_{(11, 108)} = 146,1$; $p < 0,001$) byly zjištěny signifikantní rozdíly mezi jednotlivými variantami. V rámci varianty PO je poměr hmotnosti sušiny nadzemní a kořenové části 1,1–1,9, u varianty PS 2,1–3,2 a u varianty S 3,3–4,9. Hmotnosti sušiny rostlin byly nejvyšší u varianty PO. Zajímavý je trend, kdy u varianty Z100% na plném osvitě je poměr hmotnosti sušiny nadzemní a kořenové části takřka roven 1 a následně se zvyšuje se snižující se záhlvkou, zatímco u varianty PL a S je tento trend opačný, kdy varianty Z100% mají nejvyšší poměr hmotnosti sušiny nadzemní a kořenové části a poté se poměr snižuje s klesající záhlvkou. Tento trend je částečně patrný i z obr. 5. U variant PO a PS s nízkou záhlvkou (Z25%) je z obrázku patrné, že u krčku rostlin došlo k posunutí zóny růstu postranních kořenů z hlavního kořene o 1–2 cm vůči ostatním variantám.

DISKUSE

S rostoucí pravděpodobností výskytu extrémních klimatických jevů se radikálním způsobem zhoršují i podmínky pro obnovu lesních porostů. Z tohoto pohledu se nejzávažněji projevují vysoké jarní a letní teploty doprovázené dlouhými periodami sucha. Ty mají negativní vliv nejen na umělou obnovu lesa, ale zásadním způsobem komplikují i postupy přirozené obnovy. Přestože je borovice lesní považována za dřevinu, která je výše popsaným extrémům relativně dobře přizpůsobena a její obnova na volné ploše nepředstavuje závažnější biologické ani technologické problémy, může její clonná obnova či úprava velikosti holosečných obnovních prvků představovat významné adaptační opatření na negativní dopady výše popsaných nepříznivých klimatických jevů (BÍLEK et al. 2018). Vedle přímých dopadů jako je úprava mikroklimatických podmínek se pak může jednat i o nepřímé dopady, jako je možnost využití několika semenných let či podpora starších kohort jedinců přirozené obnovy (GALIANO et al. 2013).

V našem experimentu jsme využili kombinace abiotických vlivů (množství vody a míra zástínu) k simulaci možného vlivu mateřského porostu na klíčení a přežívání semenáčků borovice lesní včetně posouzení parametrů podzemní a nadzemní části rostlin. Z výsledků vyplývá, že při plném oslunění a minimální záhlvce (přibližně 120 mm srážek během vegetačního období) dochází k vysoké mortalitě rostlin,

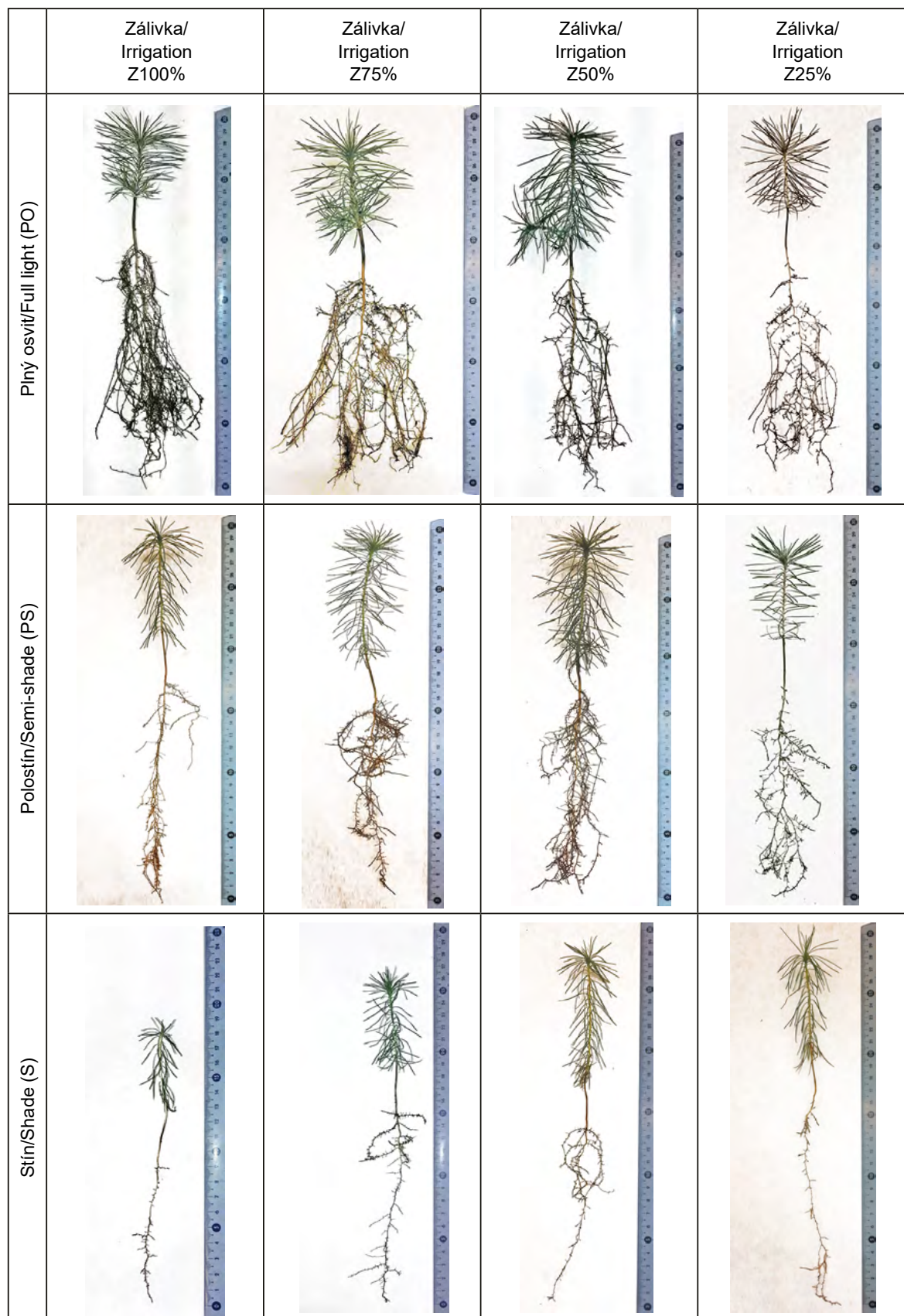


Obr. 4.

Hmotnosti sušiny nadzemní části, kořenového systému, a poměr hmotnosti sušiny nadzemní ke kořenové části semenáčků borovice lesní z výsevu 2017 za všechny provenience; rozdílné indexy označují statisticky významné rozdíly (PO – plný osvit, PS – polostín, S – stín; Z25% – záhlvka 25%, Z50% – záhlvka 50%, Z75% – záhlvka 75%, Z100% – záhlvka 100%; chybová úsečka – směrodatná odchylka)

Fig. 4.

Shoot dry mass, root dry mass and shoot-root ratio of Scots pine seedlings as average value for all proveniences; different letters show significant differences (PO – full light, PS – semi-shade, S – shade; Z25% – irrigation 25%, Z50% – irrigation 50%, Z75% – irrigation 75%, Z100% – irrigation 100%; error bars – standard deviation)



Obr. 5.
Vzhled jednoletých semenáčků v různých podmínkách zastínění a závlahy

Fig. 5.
Seedlings representing particular light and irrigation conditions

a to i více než 85%, přičemž negativní efekt sucha byl shodně pozorován u všech sledovaných proveniencí. V souladu s našimi výsledky doložili CREGG, ZHANG (2001) lepší přežívání přistíněných semenáčků borovice lesní, kdy i při minimální zálivce jich přeživalo 55–60 %. Další přistínění a i vyšší zálivka k lepším výsledkům již nevede, jelikož se zde projevuje fyziologická vlastnost borovice – snížení růstu a vyšší mortalita při vysokém podílu zastínění (KOBÉ, COATES 1997).

Pokles počtu jedinců v průběhu vegetace je v našem experimentu pravděpodobně zapříčiněn vyššími teplotami prostředí (vyšší stres osluněním a suchem, kdy na povrchu substrátu byly teploty i 60 °C), a to převážně u varianty plný osvit (PO). U zastíněných variant je úbytek rostlin při zvýšení teploty prostředí nižší nebo žádný oproti plnému osvit. Úbytek počtu jedinců u zastíněných variant a s vyšší zálivkou (především u Z100%) je pak pravděpodobně způsoben vysokou vlhkostí substrátu, kdy rostliny byly napadeny hnilobou (zamokření kořenového aparátu rostlin, vlhkost substrátu dosahovala dlouhodobě 48–50 %) v důsledku poklesu venkovních teplot a zvýšení oblačnosti (obr. 1).

Tolerance k zastínění se liší podle dřevin. U mladých jedinců borovice lesní je pro udržení alespoň 60 % růstu potřeba snižovat míru osvětlení pod 30 % radiace volné plochy. U stín tolerantních dřevin, jako je např. douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii*) nebo jedlovec západní (*Tsuga heterophylla*), stačí 15 %, resp. 10 % plného světla (MASON et al. 2004). CARTER, KLINKA (1992) uvádějí, že tolerance vůči stínu je v rámci jednotlivých druhů dřevin (*Pseudotsuga menziesii*, *Tsuga heterophylla* a *Thuja plicata*) rovněž ovlivněna charakterem stanoviště, kdy se zvyšující se vlhkostí půdy tolerance k zastínění spíše klesala. Studie MESSIER et al. (1999) dokládá, že dřeviny tolerantní vůči stínu (smrky, jedle) mají poměrně vyšší podíl kořenů ve stinných podmínkách než dřeviny méně tolerantní k zástínu (borovice, topoly). Shodně s našim experimentem byl u všech sledovaných druhů zaznamenán pokles poměru kořenové části k nadzemní části od plného světla do přibližně 16 % dopadajícího světla, kdy rostliny na přímém slunci vytvořily mohutnější kořenovou část než ve stínu.

Množství dodané vody se na tvorbě kořenového systému výrazně neprojevilo hlavně u přímo osluněných variant, nepatrné rozdíly jsou u přistíněných variant, kde s přibývajícím zálivkou byl kořenový systém menší. CREGG (1994) v případě borovice těžké (*Pinus ponderosa*) pro různé severoamerické populace uvádí, že přežívání rostlin vystavených suchu jen slabě korelovalo s klimatickými podmínkami zdrojů semen, naopak důležitějším parametrem byl poměr nadzemní a podzemní části konkrétní rostliny. Toto zjištění naznačuje, že existuje optimální poměr nadzemní a kořenové části, který rostlině umožňuje přežít nepříznivé období způsobené suchem. Naopak SEIDEL, MENZEL (2016) potvrdili rozdíly v odolnosti vůči suchu mezi evropskými proveniencemi borovice lesní, kdy jako nejodolnější se projevily provenience Emilia Romagna z Itálie, Prialpes du Sud z Francie a Garmen z Bulharska pocházející z lokalit s výrazným nedostatkem srážek v létě. Mezi nejohroženější provenience patří ty, které pocházejí z oblastí s celkově vysokými ročními úhrny srážek jako např. Alpenkiefer a Hauptsmoorwald z Německa a Wallis ze Švýcarska. Nicméně autoři studie nedokázali identifikovat žádný trvalý vztah mezi přežitím dle provenience a klimatem oblasti jejich původu, jako je průměrná roční teplota a průměrná suma ročních srážek. Pro jednotlivé rostliny pak platí, že těžší a vyšší sazenice byly na stres suchem náchylnější. Naše výsledky naopak naznačují, že rostliny z variant plný osvit (PO) s mohutnějším kořenovým systémem jsou potenciálně lépe přizpůsobeny nepříznivým periodám extrémního sucha v jarním a letním období.

REICH, OLEKSYN (2008) uvádějí, že růst biomasy jižních proveniencí borovice lesní negativně koreloval s absolutním teplotním rozdílem mezi místem výsadby a místem původu. Navíc klesající radiální růst borovice lesní se stoupající teplotou může také přispět ke snížení nadzemní biomasy ve srovnání s pěstováním sazenic na

pěstební ploše (SEIDEL, MENZEL 2016). TAEGER et al. (2015) uvádějí, že sazenice borovice lesní reagovaly na suchu prodloužením hlavního kořene a zvýšením poměru délky kořene k nadzemní části. Tento fenomén se projevilo u všech zkoumaných proveniencí, přičemž nejsilnější fenotypová plasticita růstu kořenů byla zjištěna u evropské jihozápadní provenience. To naznačuje specifickou schopnost přežít období sucha za cenu celkového nízkého růstu nadzemních částí i za normálních podmínek. Přitom oteplování mělo na růst celkově nepatrný vliv.

Je však potřeba zdůraznit, že růst a přežívání semenáčků v zástínu zahrnuje komplexní interakci mezi rostlinou a růstovými faktory, jako jsou světlo, živiny a dostupnost vody (MESSIER et al. 1999). Navíc dynamika růstu podzemní a nadzemní části rostlin se může během následujících let výrazně měnit, a to právě i v závislosti na převládajícím světelném a vláhovém režimu.

ZÁVĚR

Výsledky experimentu dokládají, že světelné podmínky ve variantách polostín (50–60 % plného oslunění) a stín (20–30 % plného oslunění) představovaly výrazně příznivější podmínky pro vzházení a přežívání jedinců borovice lesní, přičemž mezi proveniencemi nebyl sledován výrazný rozdíl v reakci na odlišné podmínky prostředí. Nebyla tak potvrzena hypotéza (1), že jednotlivé provenience borovice lesní budou reagovat na zvyšující se zástín a zálivku odlišně, ani že nejvyšší růst a nejvyšší vzházivost bude dosažena u varianty s plným osvitem a nejvyšší zálivkou (2). Zároveň byl podíl sušiny nadzemní a podzemní části oproti stanovené hypotéze (3) nejvyšší u variant polostín a stín, absolutní hmotnost rostlin stejně jako délka a hmotnost kořene však byly nejvyšší ve variantě plný osvit. Po první vegetační sezóně byly tedy co do početnosti obnovy celkově příznivější podmínky charakterizující clonnou obnovu, zatímco vyspělost rostlin, a to zejména kořenové části, byla naopak lepší v podmínkách charakterizujících holosečný postup.

Poděkování:

Výzkum byl podpořen z projektu Ministerstva zemědělství České republiky QJ1520037.

LITERATURA

- ALLEN C.D., MACALADY A.K., CHENCHOUNI H., BACHELET D., McDOWELL N., VENNETIER M., KITZBERGER T., RIGLING A., BRESHEARS D.D., HOGG E.H., GONZALEZ P., FENSHAM R., ZHANG Z., CASTRO J., DEMIDOVA N., LIM J.H., ALLARD G., RUNNING S.W., SEMERCI A., COBB N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259: 660–684. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.001
- BÍLEK L., VACEK Z., VACEK S., BULUŠEK D., LINDA R., KRÁL J. 2018. Are clearcut borders an effective tool for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration? *Forest Systems*, 27 (2): e010. DOI: 10.5424/fs/2018272-12408
- BOUCHER J.-F., MUNSON A.D., BERNIER P.Y. 1995. Foliar absorption of dew influences shoot water potential and root growth in *Pinus strobus* seedlings. *Tree Physiology*, 15: 819–823.
- CARTER R.E., KLINKA K. 1992. Variation in shade tolerance of Douglas fir, western hemlock and western red cedar in coastal British Columbia. *Forest Ecology and Management*, 55: 87–105. DOI: 10.1016/0378-1127(92)90094-P

- COATES K.D., BURTON P.J. 1997. A gap-based approach for development of silvicultural systems to address ecosystem management objectives. *Forest Ecology and Management*, 99: 337–354. DOI: 10.1016/S0378-1127(97)00113-8
- COATES K.D., BURTON P.J. 1999. Growth of planted tree seedlings in response to ambient light levels in north western interior cedar-hemlock forests of British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, 29: 1374–1386.
- CREGG B.M. 1994. Carbon allocation, gas exchange, and needle morphology of *Pinus ponderosa* genotypes known to differ in growth and survival under imposed drought. *Tree Physiology*, 14 (7-8-9): 883–898. DOI: 10.1093/treephys/14.7-8-9.883
- CREGG B.M., ZHANG J.W. 2001. Physiology and morphology of *Pinus sylvestris* seedlings from diverse sources under cyclic drought stress. *Forest Ecology and Management*, 154: 131–139. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00626-5
- CUNNINGHAM R.A., HAVERBEKE D.F. VAN 1991. Twenty-two year results of a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenance test in North Dakota. Fort Collins, USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 9 s. Research Paper RM, 298.
- ČSN 48 1211. 2006. Lesní semenářství – Sběr, kvalita a zkoušky kvality semenného materiálu lesních dřevin. Praha, ČNI: 60 s.
- GALIANO L., MARTÍNEZ-VILALTA J., EUGENIO M., GRANZOW-DE LA CERDA Í., LLORET F. 2013. Seedling emergence and growth of *Quercus spp.* following severe drought effects on a *Pinus sylvestris* canopy. *Journal of Vegetation Science*, 24 (3): 580–588. DOI: 10.1111/j.1654-1103.2012.01485.x
- GIERTYCH M. 1991. Provenance variation in growth and phenology. In: Giertych, M., Matyas, C. (eds.): *Genetics of Scots pine*. Amsterdam, Elsevier: 87–101.
- HAYES D.H. DE, DICKMANN D.I., LEMMIEN W.A. 1980. Management of exotic timber trees in temperate regions of eastern North America: an assessment. *Forest Ecology and Management*, 3 (1): 31–44.
- CHURCHILL D.J., LARSON A.J., DAHLGREEN M.C., FRANKLIN J.F., HESSBURG P.F., LUTZ J.A. 2013. Restoring forest resilience: from reference spatial patterns to silvicultural prescriptions and monitoring. *Forest Ecology and Management*, 291: 442–457. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.11.007
- KERN C.C., BURTON J.I., RAYMOND P., D'AMATO A.W., KEETON W.S., ROYO A.A., WALTERS M.B., WEBSTER CH.R., WILLIS J.L. 2017. Challenges facing gap-based silviculture and possible solutions for mesic northern forests in North America. *Forestry*, 90: 4–17.
- KOBE R.K., COATES K.D. 1997. Models of sapling mortality as a function of growth to characterize interspecific variation in shade tolerance of eight tree species of northwestern British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, 27: 227–236.
- LLORET F., ESCUDERO A., IRIONDO J.M., MARTINEZ-VILALTA J., VALLADARES F. 2012. Extreme climatic events and vegetation: the role of stabilizing processes. *Global Change Biology*, 18: 797–805. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02624.x
- MARCOS J.A., MARCOS E., TABOADA A., TÁRREGA R. 2007. Comparison of community structure and soil characteristics in different aged *Pinus sylvestris* plantations and a natural pine forest. *Forest Ecology and Management*, 247: 35–42. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.04.022
- MASON W.L., ALÍA R. 2000. Current and future status of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in Europe. *Investogación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales. Fuera de serie 1*: 317–333.
- MASON W.L., EDWARDS C., HALE S.E. 2004. Survival and early seedling growth of conifers with different shade tolerance in a Sitka spruce spacing trial and relationship to understorey light climate. *Silva Fennica*, 38 (4): 357–370.
- MATÍAS L., JUMP A. S. 2012. Interactions between growth, demography and biotic interactions in determining species range limits in a warming world: the case of *Pinus sylvestris*. *Forest Ecology and Management*, 282: 10–22. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.06.053
- MERLIN M., PEROT T., PERRET S., KORBOULEWSKY N., VALLET P. 2015. Effects of stand composition and tree size on resistance and resilience to drought in sessile oak and Scots pine. *Forest Ecology and Management*, 339: 22–33. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.11.032
- MESSIER C., DOUCET R., RUEL J.-C., CLAVEAU Y., KELLY C., LECHOWICZ M.J. 1999. Functional ecology of advance regeneration in relation to light in the boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 29: 812–823.
- MÍKESKA M., VACEK S., PRAUSOVÁ R., SIMON J., MINX T., PODRÁZSKÝ V., MALÍK V., KOBLIHA J., ANDĚL P., MATĚJKA K. 2008. Lesnicko-typologické vymezení, struktura a management přirozených borů a borových doubrav v ČR.. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 447 s.
- OLEKSYN J., REICH P.B., CHALUPKA W., TJOELKER M.G. 1999. Differential above- and below-ground biomass accumulation of European *Pinus sylvestris* populations in a 12-year-old provenance experiment. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14 (1): 7–17. DOI: 10.1080/02827589908540804
- REICH P.B., OLEKSYN J. 2008. Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far north. *Ecology Letters*, 11: 588–597. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01172.x
- RICHARDSON D.M. (ed.) 1998. *Ecology and biogeography of Pinus*. Cambridge, Cambridge University Press: 527 s.
- SEIDEL H., MENZEL A. 2016. Above-ground dimensions and acclimation explain variation in drought mortality of Scots pine seedlings from various provenances. *Frontiers in Plant Science*, 7: 1014. DOI: 10.3389/fpls.2016.01014
- SHUTYAEV A.M., GIERTYCH M. 1997. Height growth in a comprehensive Eurasian provenance experiment of *Pinus sylvestris* L. *Silvae Genetica*, 46: 332–349.
- STEPHAN B.R., LIESENBACH M. 1996. Results of the IUFRO 1982 Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenance experiment in southwestern Germany. *Silvae Genetica*, 45: 324–349.
- TAEGER S., SPARKS T.H., MENZEL A. 2015. Effects of temperature and drought manipulations on seedlings of Scots pine provenances. *Plant Biology*, 17: 361–372. DOI: 10.1111/plb.12245
- ZPRÁVA. 2017. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2016. [Report on the state of the forest and forestry of the Czech Republic in 2016]. Praha, MZe ČR: 128 s.

EMERGENCE, SURVIVAL AND ROOT SYSTEM OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) SEEDLINGS IN DIFFERENT LIGHT INTENSITIES AND IRRIGATION REGIMES

SUMMARY

Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a stress tolerant tree species can grow on extreme sites (RICHARDSON 1998), where it is capable of providing a broad spectrum of ecological functions (MIKESKA et al. 2008). Scots pine is also an important commercial tree species that is frequently planted outside its natural range (HAYES et al. 1980; MARCOS et al. 2007; ZPRÁVA 2017). Pine has high requirements for light, and its natural regeneration under the canopy of parent stand is relatively rare, nevertheless many authors consider shelterwood regeneration method in pinewoods as measure decreasing costs for the establishment of new forest stand and as an adaptation measure to global climate change (ALLEN et al. 2010; LLORET et al. 2012; CHURCHILL et al. 2013; MERLIN et al. 2015; KERN et al. 2017). More detailed understanding of plant reaction to different light and moisture conditions can help to formulate suitable silvicultural methods increasing structural and species heterogeneity of pine-dominated forest ecosystems (COATES, BURTON 1997).

The effect of different light conditions (PO – full light: 100% of full light, PS – semi-shade: 50–60% of full light and S – shade: 20–30% of full light; Table 1) and different irrigation regimes (Z100 % – irrigation 480 mm during vegetation season, Z75% – irrigation 360 mm during vegetation season, Z50% – irrigation 240 mm during vegetation season and Z25% – irrigation 120 mm during vegetation season; Table 2) on the emergence, growth, survival and root characteristics of Scots pine seedlings during the first vegetation period of 5 provenances from the Czech Republic (1 – Česká Lípa, 2 – Mimoň, 3 – Západočeská pahorkatina, 4 – Jihomoravské úvaly, 5 – Jihočeská pánev) was investigated. Differences in root lengths, shoot lengths, root dry mass, shoot dry mass and shoot:root ratios were tested by analysis of variance (ANOVA). Significance level was 0.05. Significant differences were subsequently tested by post-hoc comparison using Tukey's HSD tests.

Full light conditions resulted in the lowest survival rates (10–25%) across all irrigation variants, while the highest survival rates were recorded in semi-shade treatment (50–70%) for all studied provenances (Fig. 1, 2). Most distinct differences in final seedling numbers for particular provenances were recorded in variants PO – full light Z25% – irrigation 120 mm ($F_{(4,15)} = 7.7$; $p < 0.002$), PS – semi-shade Z50% – irrigation 240 mm ($F_{(4,15)} = 14.4$; $p < 0.001$), and PS – semi-shade Z25% – irrigation 120 mm ($F_{(4,15)} = 12.62$; $p < 0.001$). On the contrary, no differences were recorded in variants PO – full light Z50% – irrigation 240 mm, PO – full light Z25% – irrigation 120 mm and S – shade Z100% – irrigation 480 mm.

Generally the root lengths, shoot dry mass and root dry mass were the highest in full light conditions, however, the shoot-root ratios for both the above and below ground plant lengths (0.19–0.35 in full light versus 0.70–0.83 in full shade conditions) and dry mass (1.1–2.1 in full light versus 3.3–4.9 in full shade) were the lowest (Fig. 3, 4). In the case of shoot lengths ($F_{(11,278)} = 53.6$; $p < 0.001$), root-lengths ($F_{(11,108)} = 59.5$; $p < 0.001$), shoot dry mass ($F_{(11,126)} = 126.6$; $p < 0.001$), root dry mass ($F_{(11,108)} = 206.9$; $p < 0.001$) as well as shoot-root length ratio ($F_{(11,108)} = 92.6$; $p < 0.001$) and shoot-root dry mass ratio ($F_{(11,108)} = 146.1$; $p < 0.001$) differences were statistically significant. For individual seedling characteristics representing different light and irrigation variants from our study see also Fig. 5.

In accordance with other studies (MESSIER et al. 1999; TAEGER et al. 2015) pine seedlings reacted on full light and lower moisture with larger root system and lower shoot-root ratios. Nevertheless, individual plant performance must be considered with respect to all growth factors, moreover the dynamics of above-ground and below-ground growth may change during the following vegetation periods.

As for the numbers of seedlings after the first vegetation season, conditions representing shelterwood regeneration were more favourable. On the other hand, root characteristics were better in conditions simulating clear-cutting.

Zasláno/Received: 17. 10. 2018

Přijato do tisku/Accepted: 12. 11. 2018