

VZTAH VODNÍHO STRESU MĚŘENÉHO TLAKOVOU KOMOROU K UJÍMAVOSTI SEMENÁČKŮ BOROVICE LESNÍ VYSTAVENÝCH VYSYCHÁNÍ

RELATION OF WATER STRESS MEASURED BY PRESSURE CHAMBER TO THE PERFORMANCE OF PINE (*PINUS SYLVESTRIS*) SEEDLINGS EXPOSED TO DRYING

JAN LEUGNER ✉ - JARMILA MARTINCOVÁ - EVELÍNA ERBANOVÁ

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno, Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Czech Republic

✉ e-mail: leugner@vulhmop.cz

ABSTRACT

In order to determine the possible disturbance of the planting material by incorrect manipulation, the method of plant moisture stress (PMS) assessment was used. Two-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L) seedlings collected on two different dates in two forest nurseries were used. Seedlings were exposed to controlled drying – loosely distributed on the shelves in the laboratory with exposed roots for 2, 4 and 6 hours. For fresh and exposed seedlings the plant water stress PMS was measured by the pressure chamber and the water content in the above-ground parts and roots gravimetrically as the differences between fresh weight and dry matter. Other seedlings of the same treatments were planted in outdoor conditions. Naked roots lost water 2 to 3 times faster than shoots. During drying significantly increased water stress PMS (3–7 bars in unexposed, more than 13 bars after 2 hours and 18.5 to nearly 30 bars after 4 and 6 hours of exposure). PMS significantly correlated with water content in roots and shoots. The high PMS values also corresponded to high mortality (no loss in unexposed seedlings, 25–55% after 2 hours and more than 80% after 4 and 6 hours of drying).

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

Klíčová slova: borovice lesní; semenáčky; vysychání; vodní stres; ujmavost

Key words: Scots pine; seedlings; drying; plant water stress; survival

ÚVOD

Sadební materiál lesních dřevin je vystaven výrazným stresům zejména v době mezi vyzvednutím ze školky a výsadbou. Kromě poškození kořenových systémů a případného přehřátí významnou roli hraje ztráta vody z nadzemních částí a hlavně z obnažených kořenů. Ztráta vody během manipulace před výsadbou je považována za jeden z hlavních prvků v šoku z přesazení (HAASE, ROSE 1993; BRØNNUM 2005). Vodní deficit může ovlivnit prakticky každý aspekt růstu rostlin včetně anatomie, morfologie, fyziologie a biochemie (KOZŁOWSKI 1972). Udržování vysokého vodního potenciálu mezi vyzvedáváním a výsadbou je tak důležitou součástí produkce kvalitního sadebního materiálu a je podstatné pro udržení vysoké ujmavosti a intenzity růstu vysazených rostlin (CLEARY, ZAERR 1980).

Možnost objektivního hodnocení aktuálního fyziologického stavu semenáčků a sazenic je důležitá pro odběratele sadebního materiálu, kterým pomáhá vyloučit nekvalitní nebo poškozené soubory z výsadeb a předcházet sporům při neúspěchu zalesňování, i pro školkaře,

kde osvědčení dobré kvality napomáhá prodejnosti a konkurenceschopnosti sazenic.

Smysluplné hodnocení a vyjádření vodního deficitu rostliny vyžaduje kvantitativní měření vodního stavu, který přímo souvisí s fyziologickými procesy (LOPUSHINSKY 1990). Základním pojmem používaným k popisu a kvantifikaci vodního režimu rostlin je vodní potenciál Ψ_w . Vyjadřuje celkovou specifickou volnou energii vody v systému, vztaženou k volné energii čisté vody. Čisté (destilované) vodě na povrchu země byl určen vodní potenciál nula, a Ψ_w tedy nabývá negativní hodnoty. Používá se ve fyziologii rostlin pro charakterizování stavu vody v rostlině, její části nebo v jejím nejbližším okolí. Vyjadřuje chemický potenciál nebo volnou energii vody, řídí pohyb vody v systému půda-rostlina-atmosféra a může být měřen v rostlině i v půdě.

Běžné vyjádření vodního potenciálu bývá pro pěstitele problematické, protože záporné hodnoty jsou těžko představitelné a je složitější s nimi počítat (RITCHIE, LANDIS 2005). Může být obtížné se orientovat v situaci, kdy při nedostatku vody vodní potenciál Ψ_w klesá (stává se

více záporným), zatímco jeho absolutní hodnoty se zvyšují. Proto je stále častěji vodní potenciál vyjadřován jako pozitivní hodnoty a je nazýván vodní stres PMS (plant moisture stress). Hodnoty vodního potenciálu Ψ_w a hodnoty PMS jsou přímo konvertibilní pouhou změnou znaménka (RITCHIE, LANDIS 2005).

Hodnoty Ψ_w a PMS jsou hodnoty tlaku. Jsou vyjadřovány v MPa, aby odpovídaly soustavě fyzikálních jednotek SI. Pro účely výzkumu a pěstování rostlin jsou často vyjadřovány v barech. Porovnání jednotek a popisných pojmů pro vodní potenciál rostlin (Ψ_w) a vodní stres rostliny (PMS) je uvedeno v tab. 1. Při našich měřeních je dále používáno měření vodního stresu rostlin vyjádřeného v barech.

Hodnocení vodního stresu rostlin (PMS) je používáno jako součást režimu závlahy semenáčků (LANDIS et al. 1989), pro načasování vyzvedávání podle fyziologického stavu a pro zjištění vodního režimu v době vyzvedávání a manipulace (LOPUSHINSKY 1990; MOHAMMED 1997; MATTSSON 1997; RITCHIE, LANDIS 2005).

Cílem příspěvku bylo zjištění vztahu obsahu vody k hodnotám PMS měřeným pomocí tlakové komory a vztah sledovaných charakteristik k ujímavosti semenáčků a jejich růstu po výsadbě.

MATERIÁL A METODIKA

Na jaře 2015 byl uskutečněn pokus s hodnocením vodního stresu PMS dvouletých semenáčků borovice lesní, vystavených po různé dlouhou dobu vysychání. Výsledky byly porovnávány s obsahem vody v nadzemních částech a kořenech. Vzhledem k tomu, že rostliny v různých fázích dormance a aktivity mohou být různě citlivé k vysychání a dalším stresům (RITCHIE 1986), byly pokusné semenáčky vyzvedávány v několika termínech. Pro hodnocení kvality sadebního materiálu byly

použity dvouleté semenáčky borovice lesní vyzvedávané ve dvou školkách, vždy ve 2 termínech. Označení variant a termíny odběru vzorků jsou uvedeny v tab. 2.

Experimenty byly zaměřeny na zjišťování vlivu stresu suchem na základní charakteristiky vodního režimu a následnou ujímavost a růst rostlin. Vzorky sadebního materiálu byly vystaveny záměrnému osychání – volně rozložené na policích v laboratoři s nechráněnými kořeny (teplota vzduchu $22 \pm 1,5$ °C, relativní vlhkost vzduchu 40–55 %). Varianty hodnocení představovaly čerstvé (neexponované) rostliny a rostliny vystavené osychání po dobu 2, 4 a 6 hodin.

Po ukončení expozice byly semenáčky uloženy do PE pytle a jednotlivě odebrány pro měření. Každé hodnocení v rámci jedné varianty zahrnovalo 20 rostlin. Dalších 20 rostlin ze stejné varianty vysychání bylo zároveň vloženo do PE pytle a po krátkodobém uložení v klimatizovaném boxu (do příštího dne) použito pro kontrolní výsadbu na venkovní záhon v objektu výzkumné stanice.

Pro hodnocení vodního stresu (PMS) byly použity terminální části z každého semenáčku. Měření bylo prováděno tlakovou komorou (Model 1000 od PMS Instrument Company, Oregon, USA). Odříznutá terminální část byla umístěna pomocí pryžového těsnění do tlakové komory přístroje s řeznou plochou vyčnívající přes komorové víko. Redukčním ventilem byl pomalu zvyšován tlak v komoře, dokud se na řezu neobjevila první kapička vody. Tlak plynu potřebný pro vytlačení kapky vody je roven vodnímu stresu rostliny (CLEARY et al. 1999; RITCHIE, LANDIS 2005).

Zbylá nadzemní část a kořenový systém byly použity pro gravimetrické stanovení obsahu vody. Byl zjišťován z rozdílu hmotnosti v čerstvém stavu a po vysušení do konstantní hmotnosti při 80 °C a vyjadřován v % čerstvé hmotnosti. Ztráty vody byly přepočítány na procenta obsahu vody neexponovaných semenáčků.

Tab. 1.

Porovnání jednotek a popisných pojmů pro vodní potenciál rostlin (Ψ_w) a vodního stresu rostliny (PMS). Ψ_w a PMS mají stejnou hodnotu, ale Ψ_w je vyjádřen jako záporné číslo, zatímco hodnoty PMS jsou pozitivní (LANDIS et al. 1989)
Comparison of units and descriptive concepts for plant water potential (Ψ_w) and plant water stress (PMS). Ψ_w and PMS have the same value, but Ψ_w is expressed as a negative number, while PMS values are positive (LANDIS et al. 1989)

Vodní potenciál/Water potential				Vodní stres PMS/Water stress		
Jednotky/Units		relativní vyjádření/ relative rating	relativní vlhkost/ relative moisture	Jednotky/Units		relativní vyjádření/ relative rating
MPa	bar			MPa	bar	
0,0	0,0	Vysoký/High	Vlhko/Wet	0,0	0,0	Nízký/Low
-0,5	-5,0			0,5	5,0	
-1,0	-10,0	Střední/Moderate		1,0	10,0	Střední/Moderate
-1,5	-15,0			1,5	15,0	
-2,0	-20,0	Nízký/Low	Sucho/Drought	2,0	20,0	Vysoký/High

Tab. 2.

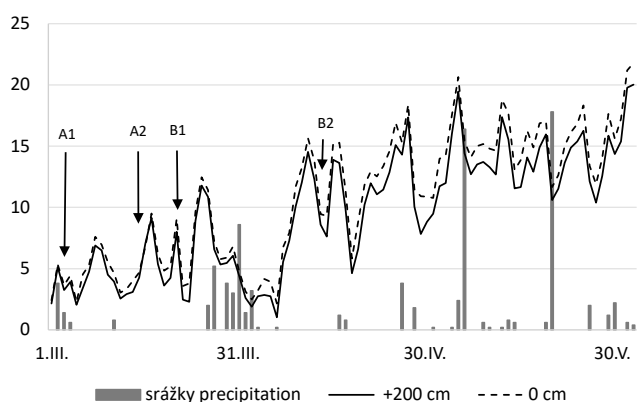
Sadební materiál použitý pro hodnocení fyziologické kvality
Planting material used for the physiological quality evaluation

Školka/ Nursery	Číslo uznané jednotky	Označení varianty/ Variant designation	Termín odběru/ Dates of sampling	Poznámka/Note
Albrechtice	CZ-2-2B-BO-896-183-H	A1	2. 3. 2015	ze záhonu/from the bed
		A2	13. 3. 2015	založené od 9. 3. 2015/buried in the soil since 9. 3. 2015
Broumov	CZ-3-3-BO-83-24-4-H	B1	18. 3. 2015	ze záhonu/from the bed
		B2	14. 4. 2015	ze záhonu/from the bed

Kontrolní výsadby v objektu výzkumné stanice nebyly zavlažovány. Klimatické podmínky v těsném sousedství záhonů byly monitorovány meteorologickou stanicí NOEL (obr. 1). Pravidelně (v týdenních intervalech) byl hodnocen průběh rašení nebo hynutí semenáčků. Po výsadbě a následně na konci vegetačního období byla měřena výška, výškový přírůst a průměr kořenového krčku.

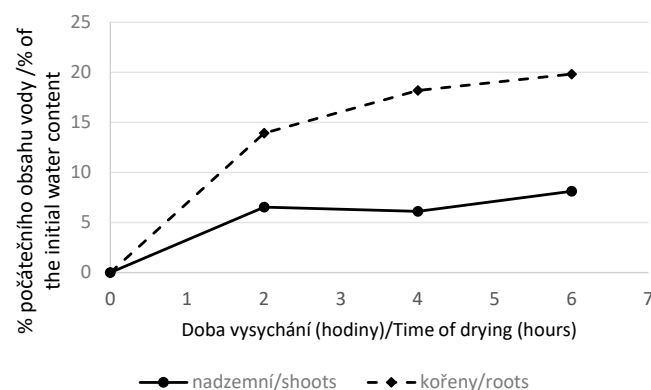
VÝSLEDKY A DISKUSE

Kořeny ztrácely vodu 2× až 3× rychleji než nadzemní části (obr. 2). Již po 2 hodinách expozice ztratily 10–18 % vody, zatímco ztráty vody z nadzemních částí nepřesáhly 10 % ani po šestihodinovém vysychání (hodnoty v % obsahu vody neexponovaných semenáčků). Odpovídá to našim dřívějším poznatkům (LOKVENEC, MARTINCOVÁ 1975; LEUGNER et al. 2012) i údajům z literatury (MAUER 1994). COUTTS



Obr. 1. Průběh teplot ve 200 cm a při zemi a srážek v jarním období 2015. Šipky označují termíny výsadby kontrolních výsadb (popis variant je v tab. 2)

Fig. 1. Temperature course at 200 cm and near ground and precipitation in the spring 2015. The arrows indicate the dates of planting (for variants' description see Tab. 2)



Obr. 2. Ztráty vody z nadzemních částí a kořenů rostlin vystavených vysychání vyjádřené v % výchozího obsahu vody

Fig 2. Water losses from the above-ground parts and the roots of the plants exposed to drying, expressed as % of the initial water content

(1981) zjistil, že vystavení kořenů vysychání snížilo vodní potenciál nadzemních částí více než expozice nadzemních částí samotných. Kořeny jsou mnohem citlivější k vysychání, protože na rozdíl od jehlic a listů nemají žádnou ochrannou voskovou vrstvu a průduchy, které by je chránily před ztrátami vody (LANDIS et al. 2010).

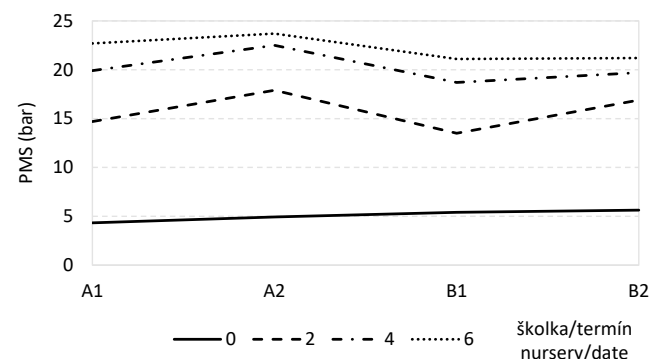
Vystavení semenáčků vysychání způsobilo výrazné zvýšení vodního stresu (PMS). Zatímco u neexponovaných semenáčků se tyto hodnoty pohybovaly v rozmezí od 3 do 7 barů, již po 2 hodinách expozice byly minimální hodnoty PMS vyšší než 10 barů a s prodlužující se expozicí se dále zvyšovaly až k hodnotám vyšším než 25 barů po šestihodinové expozici (tab. 3). Vodní stres PMS, hodnocený tlakovou komorou, byl testován jako možný ukazatel pro předpovídání následné ujímavosti a růstu sadebního materiálu po výsadbě.

Dvoufaktorová analýza variance ukázala vysoce signifikantní vliv doby expozice na hodnoty PMS a obsah vody v nadzemních částech a kořenech. Byl zjištěn také signifikantní vliv místa pěstování sadebního materiálu (školky) a termínu odběru sadebního materiálu, který se výrazněji projevoval s délkou expozice sadebního materiálu vysychání. Sadební materiál odebraný v pozdějších termínech měl vyšší hodnoty PMS. Z tohoto důvodu byla zjištěna také významná interakce faktorů „vysychání“ a „školka/termín“ (obr. 3). Uvedené výsledky potvrzují předpoklad, že s nástupem do vegetace se sadební materiál stává citlivějším k poškození vysycháním (LAVENDER 1985).

Mezi hodnotami PMS a obsahem vody v nadzemních částech nebo kořenech byla zjištěna významná korelace – $r = +0,625$ pro nadzemní části a $r = +0,843$ pro kořeny (obr. 4 a 5).

S prodlužující se dobou expozice klesal obsah vody v kořenech a v nadzemních částech a zvyšoval se vodní stres (PMS). Získané výsledky korespondují s následnou ujímavostí a růstem semenáčků v kontrolních výsadbách. Vývoj ztrát v kontrolních výsadbách však byl zároveň ovlivněn i teplotními a vlhkostními podmínkami na záhonech.

Vzhledem k tomu, že vysazovány byly jiné semenáčky (vystavené stejné manipulaci), než u kterých byl hodnocen vodní stres (PMS), při porovnání zjištěných fyziologických charakteristik s následnou ujímavostí a růstem jsou používány vždy průměrné hodnoty z jednotlivých variant. Semenáčky nevystavené vysychání, a tedy s vysokou ujímavostí, měly průměrné hodnoty PMS nižší než 6 barů. Při zvýšení průměrné PMS nad 13 barů (13 až 18 barů po dvouhodinovém vysychání) již byly pozorovány ztráty 25–55 %. Při zvýšení průměrné



Obr. 3. Hodnoty vodního stresu (PMS) v závislosti na délce expozice rostlin s volnými kořeny a termínu vyzvedávání rostlin z lesních školek

Fig. 3. The value of plant moisture stress (PMS) depending on the exposure time of plants with bare roots and the term of collecting plants from the forest nurseries

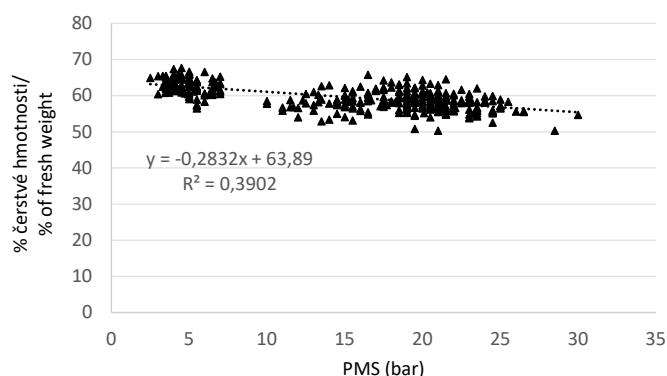
PMS nad 18,5 baru (4- a 6hodinové vysychání) byl pozorován úhyn více než 80 % semenáčků. Tyto výsledky odpovídají údajům o tom, že hodnoty PMS nižší než 5 barů znamenají nízký stres s předpokladem následného rychlého růstu, zatímco hodnoty vyšší než 10 barů mohou indikovat zpomalení růstu a hodnoty nad 15 barů jsou považovány za velmi silný stres naznačující potenciální poškození rostlin (LOPUSHINSKY 1990; RITCHIE, LANDIS 2005). EDGREN (1984) uvádí, že vodní potenciál nižší než -1,2 MPa (PMS vyšší než 12 barů) v době vyzvedávání snižuje ujmavost a růst (performance) sazenic.

Semenáčky, které nebyly vystaveny vysychání, neměly žádné ztráty, s výjimkou prvního termínu z Albrechtic (A1), kde spolupůsobila i dlouhodobě nízká teplota po výsadbě (viz obr. 1). Velmi slabý nebo žádný růst kořenů při teplotě půdy +5 °C u semenáčků borovice lesní popisují například SMIT-SPINKS et al. (1985). Kritickým důsledkem poklesu růstu kořenů v chladné půdě na jaře může být zhoršení schopnosti semenáčků borovice přežít letní sucho (ANDERSEN et al. 1986).

Tab. 3.

Hodnoty vodního stresu (PMS) sazenic vystavených různě dlouhému vysychání a ztráty po výsadbě u sazenic exponovaných po stejnou dobu
Water stress (PMS) values of seedlings exposed to different duration of drying and post-planting mortality in seedlings drying for the same time

Soubor/ Set	Vysychání (hod)/Time of drying (hours)	PMS (Bar)			Kontrolní výsadby/ Control plantings
		průměr/ mean	minimum/ minimum	maximum/ maximum	ztráty 13.7.2015/ mortality
A1	0	4,3	3,3	6,3	25
	2	14,7	11	17,7	75
	4	19,9	16,5	23,5	80
	6	22,7	19	26	90
A2	0	4,9	3,5	7	0
	2	18,1	14,5	22	25
	4	22,5	17,5	26,5	85
	6	23,7	20	28,5	85
B1	0	5,4	3,5	7	0
	2	13,5	10	19,5	45
	4	18,7	15,5	22	80
	6	20,7	18	22,5	95
B2	0	5,7	3,5	7,0	0
	2	16,9	13,0	23,5	55
	4	19,7	17,5	23,5	95
	6	21,2	18,5	24,5	100

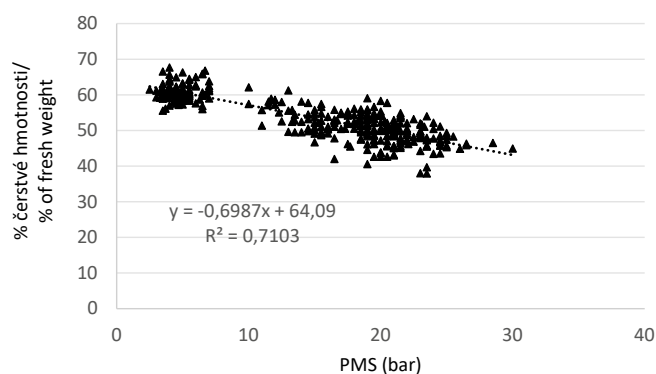


Obr. 4.

Lineární vztah mezi obsahem vody v nadzemních částech semenáčků a vodním stresem PMS měřeným tlakovou komorou

Fig 4.

Linear relationship between the water content in the above-ground parts of seedlings and the water stress PMS measured by the pressure chamber



Obr. 5.

Lineární vztah mezi obsahem vody v kořenech semenáčků a vodním stresem PMS měřeným tlakovou komorou

Fig. 5.

Linear relationship between the water content in roots of seedlings and the water stress PMS measured by the pressure chamber

Přestože se uvedené výsledky o vztahu hodnot vodního stresu k ujímavosti a růstu po výsadbě jeví poměrně jednoznačné, je třeba si uvědomit, že se jednalo pouze o několik vzorků semenáčků se známou historií, které byly vystaveny vždy stejnému stresu. Jednorázové měření vodního potenciálu udává pouze aktuální vodní potenciál v době měření. Neposkytuje žádné informace o velikosti a trvání předchozích stresů. Pokud měření předcházely silné a dlouho trvající vodní stresy, takové předcházející vlivy nemusí být jednorázovým měřením vodního stresu (vodního potenciálu) zjištělné, a přitom mohou současné růstové chování semenáčků výrazně ovlivnit (LOPUSHINSKY 1990). Problematická je i skutečnost, že mrtvé kořeny si uchovávají schopnost nasávat vodu, a nízké hodnoty PMS tak nemusí nutně indikovat zdravé semenáčky (RITCHIE, LANDIS 2005).

LOPUSHINSKY (1990) doporučuje použití vodního stresu jako indexu kvality sadebního materiálu za omezené, a to zejména na případy, kdy je vodní stres velmi vysoký nebo byly sazenice vystaveny delšímu vysychání během skladování. Tyto názory korespondují i s námi získanými poznatky.

ZÁVĚR

Měření vodního stresu (PMS) a obsahu vody v nadzemních částech a kořenech semenáčků borovice lesní během jejich řízeného vysychání přineslo následující poznatky:

- Obnažené kořeny ztrácely vodu 2× až 3× rychleji než nadzemní části.
- Byla zjištěna významná korelace mezi PMS a obsahem vody v kořenech nebo nadzemních částech.
- Na základě dvoufaktorové analýzy variance lze kromě dominantního vlivu vysychání na hodnoty PMS také konstatovat signifikantní vliv místa pěstování a termínu vyzvedávání sadebního materiálu. Signifikantní interakce obou faktorů podporuje předpoklad, že s nástupem do vegetace se sadební materiál stává citlivějším k poškození vysycháním.
- Během vysychání se výrazně zvyšoval vodní stres (plant moisture stress). U neexponovaných semenáčků se jeho hodnoty pohybovaly od 3 do 7 barů, po 2 hodinách vysychání se zvýšil nad 13 barů a po 4 a 6 hodinách vysychání byly hodnoty PMS u všech semenáčků vyšší než 18,5 baru a dosahovaly až k 30 barům.
- Vysokým hodnotám PMS odpovídaly i vysoké ztráty po výsadbě (beze ztrát u neexponovaných semenáčků, 25–55 % po 2 hodinách a více než 80 % po 4 a 6 hodinách vysychání). U neexponovaných semenáčků byly pozorovány ztráty pouze v případě výsadby na začátku března, kdy následovalo delší období s nízkými teplotami omezujícími růst kořenů.

Měření PMS sadebního materiálu během manipulace se jeví jako perspektivní metoda. Zjišťuje však pouze jeden aspekt fyziologické kvality rostlin a nevypovídá například o jejich odolnosti ke stresům nebo připravenosti k rychlému růstu. Zjištěné vysoké hodnoty PMS však mohou být varováním, že došlo k určitému narušení vodního režimu a výsadba, zejména do nepříznivých podmínek, může být neúspěšná.

Poděkování:

Výzkum byl financován z poskytnuté institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace MZe ČR – Rozhodnutí č. RO0118.

LITERATURA

- ANDERSEN C.P., SUCCOFF E.I., DIXON R.K. 1986. Effect of root zone temperature on root initiation and elongation in red pine seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, 16: 696–700.
- BRØNNUM P. 2005. Preplanting indicators of survival and growth of desiccated *Abies procera* bareroot planting stock. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 20 (1): 36–46.
- CLEARY B.D., ZAERR J.B. 1980. Pressure chamber techniques for monitoring and evaluating seedling water status. *New Zealand Journal of Forest Science*, 10: 133–141.
- CLEARY B.D., ZAERR J.B., HAMEL J. 1999. Guidelines for measuring plant moisture stress with a pressure chamber. Corvallis (USA), PMS Instrument Comp. 26 s.
- COUTTS M.P. 1981. Effects of root or shoot exposure before planting on the water relations, growth, and survival of Sitka spruce. *Canadian Journal of Forest Research*, 11: 703–709.
- EDGREN W. 1984. Nursery storage to planting hole: A seedling's hazardous journey. In: Duryea, M.L., Landis, T.D. (ed.): *Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings*. Hague, M. Nijhoff: 235–242.
- HAASE D.L., ROSE R. 1993. Soil moisture stress induces transplant shock in stored and unstored 2+0 Douglas-fir seedlings of varying root volumes. *Forest Science*, 39: 275–294.
- KOZŁOWSKI T.T. (ed.) 1972. *Water deficits and plant growth*. Vol. III. Plant responses and control of water balance. New York, Academic Press: 368 s.
- LANDIS T.D., TINUS R.W., McDONALD S.E., BARNETT J.P. 1989. *The container tree nursery manual*. Vol. IV. Seedling nutrition and irrigation. Washington, USDA Forest Service: 119 s. Agriculture Handbook, 674. Dostupné na/Available on: <http://www.rngr.net/publications/ctnm/volume-4>
- LANDIS T.D., DUMROESE R.K., HAASE D.L. 2010. *The container tree nursery manual*. Vol. 7. Seedling processing, storage, and outplanting. Washington, USDA Forest Service: 199 s. Dostupné na/Available on: <http://www.rngr.net/publications/ctnm/volume-7>
- LAVENDER D.P. 1985. Bud dormancy. In: Duryea, M.L. (ed.): *Evaluating seedling quality: Principles, procedures, and predictive abilities of major tests*. Proceedings of the workshop held October 16–18, 1984. Corvallis, Ore. Corvallis, Oregon State University: 7–15.
- LEUGNER J., MARTINCOVÁ J., JURÁSEK A. 2012. Vliv vysychání během manipulace a prostředí po výsadbě na růst sazenic smruku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.). *Zprávy lesnického výzkumu*, 57 (1): 1–7.
- LOKVENEC T., MARTINCOVÁ J. 1975. Vysychání smrkových a jedlových sazenic po vyzvednutí z půdy. *Lesnictví*, 21: 627–632.
- LOPUSHINSKY W. 1990. Seedling moisture status. In: *Target seedling symposium*. Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations. Roseburg, Ore, August 13–17, 1990. Fort Collins, USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 123–138. General Technical Report RM – 200.
- MATTSSON A. 1997. Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests*, 13 (1–3): 227–252. DOI: 10.1023/A:1006590409595
- MAUER O. 1994. Ztráty suchem po výsadbě v závislosti na kvalitě prostokořenného sadebního materiálu smruku obecného. In: *Nové směry v pěstování a ochraně sadebního materiálu ve školkách*. Sborník referátů z celostátního odborného semináře. Opočno, 26. a 27. října 1994. Opočno, VÚLHM – Výzkumná stanice Opočno: 11–17.

- MOHAMMED G.H. 1997. The status and future of stock quality testing. *New Forests*, 13: 491–514. DOI: 10.1023/A:1006571718255
- RITCHIE G.A. 1986. Relationships among bud dormancy status, cold hardiness, and stress resistance in 2+0 Douglas-fir. *New Forests*, 1: 29–42. DOI: 10.1007/BF00028119
- RITCHIE G.A., LANDIS T.D. 2005. Seedling quality tests. Plant moisture stress. Portland, Ore, USDA Forest Service, Cooperative Forestry: 6–12. *Forest Nursery Notes*, Summer 2005. Dostupné na/ Available on: https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_ritchie002.pdf
- SMIT-SPINKS B, SWANSON B.T., MARKHART A.H. III. 1985. The effect of photoperiod and thermoperiod on cold acclimation and growth of *Pinus sylvestris*. *Canadian Journal of Forest Research*, 15: 453–460. DOI: 10.1139/x85-072

RELATION OF WATER STRESS MEASURED BY PRESSURE CHAMBER TO THE PERFORMANCE OF PINE (*PINUS SYLVESTRIS*) SEEDLINGS EXPOSED TO DRYING

SUMMARY

Planting material of forest tree species is subjected to considerable stress especially during the time between picking up from the nursery and outplanting. In order to determine the disturbance of the water regime of planting material by mishandling, the method of plant moisture stress (PMS) assessment was used. Two-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L) seedlings collected on two different dates in two forest nurseries were used (Tab. 2). Seedlings were exposed to controlled drying – loosely distributed on the shelves in the laboratory with exposed roots for 2, 4 and 6 hours.

For fresh and exposed seedlings the plant water stress PMS was measured by the pressure chamber. The cut-out terminal part was placed with a rubber seal into the pressure chamber with the cutting surface protruding through the chamber lid. Pressure in the chamber was slowly increased from a bottle with compressed nitrogen until the first droplet of water appeared on the cut area. The gas pressure required to eject a drop of water is equal to plant moisture stress PMS. Its value corresponds to the water potential Ψ_w , only with the opposite sign (PMS values are positive, while the water potential Ψ_w is negative – Tab. 1).

The water content in shoots and roots was determined from the remaining parts of the seedlings gravimetrically as a difference in weight in the fresh state and after drying to constant weight at 80 °C expressed as % of fresh weight. Water losses were expressed as a percentage of the water content of unexposed seedlings.

Other seedlings of the same treatments were planted in outdoor conditions without irrigation. The course of temperatures and precipitation was monitored by the meteorological station Noel (Fig. 1).

Naked roots lost water 2 to 3 times faster than shoots (Fig. 2). Already after 2-hour- exposure the roots lost 10% to 18% water while water losses from shoots did not exceed 10% even after six hours of drying (values in % of water content of unexposed seedlings).

Exposing the seedlings to drying caused a significant increase in water stress PMS and mortality in the first growing season after planting (Tab. 3). We observed also the influence of growing conditions (nursery) and date of sampling. Multifactor analysis of variance showed a significant effect of time of exposure to the PMS and the water content in shoots and roots, which were dominant in terms of significance. There was also a significant interaction of “drying” and “nursery/term” factors (Fig. 3). These results confirm the assumption that planting material becomes more sensitive to damage drying at the time of the beginning of spring physiological activity. There was a significant correlation between the PMS values and the water content in the shoots or roots ($r = +0.625$ for the shoots and $r = +0.843$ for the roots; Fig. 4 and 5).

Higher PMS caused by drying corresponded to increased mortality of seedlings after planting. Unexposed seedlings, and thus seedlings with high survival rate, had average values PMS less than 6 bars. With an increase in average PMS above 13 bar (13–18 bar after a two-hour drying), mortality of 25–55% have been observed. With an increase in average PMS above 18.5 bar (4 and 6 hour drying), more than 80% of seedlings have been observed to die.

The results suggest that high levels of PMS can be a warning about some disruption of water regime and that planting, especially in adverse conditions, may be unsuccessful.

Zasláno/Received: 04. 10. 2018

Přijato do tisku/Accepted: 29. 10. 2018