

MOŽNOSTI HODNOCENÍ PODZIMNÍCH ZMĚN ODOLNOSTI K MRAZU U SADEBNÍHO MATERIÁLU RŮZNÝCH DŘEVIN

POSSIBILITIES OF EVALUATION OF AUTUMN CHANGES IN FROST RESISTANCE OF PLANTING STOCK OF DIFFERENT TREES

JARMILA MARTINCOVÁ - JAN LEUGNER

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

✉ e-mail: leugner@vulhmop.cz

ABSTRACT

From November 2018 until January 2019, the frost resistance of white oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), European beech (*Fagus sylvatica* L.), Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) planting stock was evaluated. After exposing the shoots to frost, the tissue damage was assessed by measuring: the ratio of electrical resistance before and after freezing (R_1/R_2), the relative electrical conductivity of shoots leakage, and the occurrence of color changes in different tissues and chlorophyll fluorescence of the needles. The method of evaluating tissue color changes is reliable, but it takes long time to decide on the storability of planting stock. From the faster methods, chlorophyll fluorescence measurement proved to be the most suitable for conifers. For the deciduous trees, it is suitable to measure the relative electrical conductivity of shoots leakage.

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

Klíčová slova: odolnost k mrazu; podzimní změny; metody hodnocení; sadební materiál

Key words: frost resistance; autumn changes; evaluation methods; planting stock

ÚVOD

Vzhledem k měnícím se klimatickým podmínkám pozorovaným v posledních letech bude pravděpodobně docházet i k některým změnám v růstovém cyklu dřevin. Například teplý podzim a zima mohou oddálit a omezit vývoj adaptace sadebního materiálu dřevin k přezimování, zejména zvyšování odolnosti vůči mrazu (BURR 1990). Sezonní křivka mrazuvzdornosti těsně odpovídá křivce celkové odolnosti ke stresům (RITCHIE, LANDIS 2004). Protože je odolnost k mrazu v korelaci s ujmavostí a růstem a je nejsnadněji měřitelná, může být použita pro posuzování celkové odolnosti v době podzimního vyzvedávání sadebního materiálu (BURR 1990).

Tolerance sadebního materiálu ke skladování může být ovlivněna podzimními teplotními podmínkami (L'HIRONDELLE et al. 2006). Znalost podzimního vývoje odolnosti k nepříznivým podmínkám je tedy důležitá zejména při určování vhodných termínů pro vyzvedávání sadebního materiálu různých dřevin určeného pro dlouhodobé

skladování přes zimní období (COLOMBO 1990; SIMPSON 1990). Potřeba využívání metod pro zjištění schopnosti sadebního materiálu snášet dlouhodobé skladování nabývá na důležitosti s rozvojem skladování sazenic při teplotách pod bodem mrazu (LINDSTRÖM et al. 2014). Aktuální znalost odolnosti ke stresům je důležitá i pro načasování podzimní výsadby jednotlivých dřevin.

Pro hodnocení odolnosti k mrazu existuje několik různých způsobů (SIMPSON 1985; RITCHIE, LANDIS 2003; VANĚK et al. 2014), rozpracovaných zpravidla pro jehličnaté dřeviny. Metody jsou většinou založeny na vystavení rostlin mrazovým teplotám a následném zjišťování poškození různých pletiv. Cílem příspěvku je orientační posouzení několika metod pro hodnocení podzimního vývoje mrazuvzdornosti některých lesních dřevin (včetně listnatých) v podzimním a zimním období. Výsledky hodnocení vývoje mrazuodolnosti lze využít pro stanovení vhodného termínu vyzvedávání sadebního materiálu pro dlouhodobé skladování a případně také pro plánování termínů podzimní výsadby.

MATERIÁL A METODIKA

Na podzim 2018 se uskutečnilo hodnocení odolnosti k mrazu čtyřletých sazenic dubu zimního (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), buku lesního (*Fagus sylvatica* L.), borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.), smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) a douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) rostoucích na záhonech výzkumné stanice v Opočně (50,269; 16,108; 270 m n. m.). Ve třech termínech (6. 11. 2018, 26. 11. 2018 a 8. 1. 2019) byly vždy ráno odebrány větve na bázi silné alespoň 2 mm po 2 ks z 10 jedinců od každé dřeviny a uzavřeny do polyetylenových sáčků (dvouleté větve u smrku a douglasky, u ostatních dřevin letorosty).

V těsné blízkosti záhonů s hodnocenými dřevinami je umístěna meteorologická stanička NOEL 2000. Průběh průměrných, maximálních a minimálních teplot měřených v 200 cm nad zemí a srážek za 24 hodin je znázorněn na obr. 1. Z grafu je patrný velmi teplý podzim v roce 2018, kdy k výraznějšímu poklesu teploty došlo až v polovině listopadu a v průběhu prosince byly teploty stále nadprůměrné. Proto bylo možno předpokládat i určité opoždění vývoje odolnosti k mrazu.

Odolnost k mrazu byla hodnocena jako reakce na vystavení mrazovým teplotám. Před a po vystavení teplotě dosahující -20 °C po 18 hodin byl u 10 vzorků od každé dřeviny hodnocen elektrický odpor bazálních částí větvíček, relativní elektrická vodivost výluhů a u jehličnanů fluorescence chlorofylu. Dva týdny po vystavení mrazu byly hodnoceny barevné změny různých pletiv (pupenů, vodivých pletiv, jehličí).

Hodnocení barevných změn po vystavení rostlinných pletiv mrazu je nejčastěji používanou metodou pro zjišťování mrazuvzdornosti (RITCHIE 1984; TANAKA et al. 1997). Poškozená pletiva během několika dnů hnědnou, a tato metoda je používána pro zjištění intenzity poškození. Větve po expozici mrazu byly umístěny bázemi do nádob s vodou. Po dvou týdnech na světle při pokojové teplotě byly podle třístupňové škály hodnoceny změny barvy pupenů, místa těsně pod pupenem, kambia a vodivých drah v horní části větvíčky a u jehličnanů i jehličí (0 – nepoškozené, 1 – částečně poškozené, 2 – zcela zhnědlé). Součet barevných změn hodnocených pletiv mohl nabývat hodnot od 0 do 8 u jehličnanů (hodnoty 0 až 2 pro pupen, místo pod

pupenem, vodivé dráhy a kambium v dřevnaté části a jehličí) a od 0 do 6 u listnáčů.

Elektrický odpor větvíček byl měřen přístrojem Tree Vitality Meter (Spišská Nová Ves, SR). Zjišťován byl elektrický odpor kambia a dalších vodivých pletiv při průchodu střídavého elektrického proudu mezi dvěma jehlami zapíchnutými do větvíčky (GLERUM 1985; MARTINCOVÁ 1989). Elektrický odpor byl měřen ve spodní části odebraných větvíček před a po jejich vystavení mrazovým teplotám. Sledovanou hodnotou byl poměr elektrického odporu před a po mražení

$$R1/R2 = R_1 (\text{čerstvé})/R_2 (\text{mražené}).$$

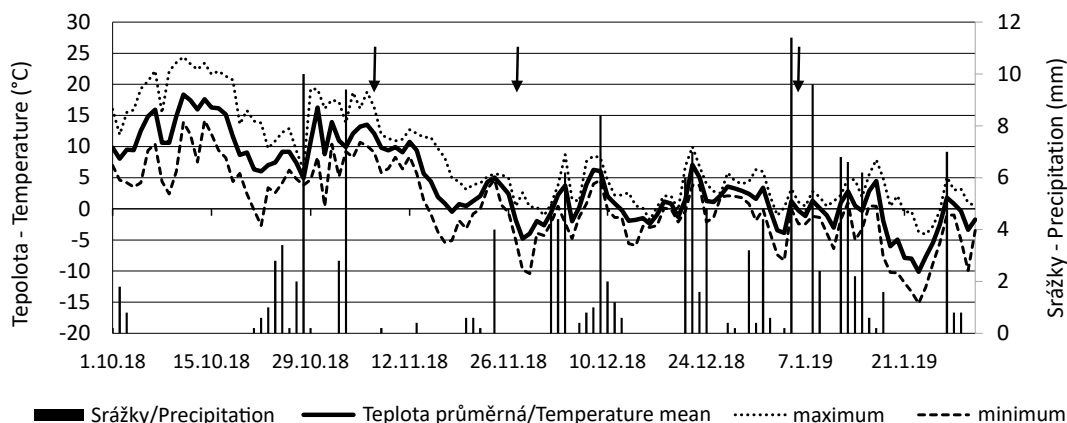
Relativní elektrická vodivost výluhů z dřevnatých částí větví (EL) byla zjišťována z dvoucentimetrových segmentů (u jehličnanů po odstranění jehličí) ze spodních částí větvíček rozstřížených na tři části. Vzorky z každé větvíčky byly důkladně omyty pitnou a následně destilovanou vodou a vloženy do zkumavek s 16 ml destilované vody. Zkumavky byly protřepány a vzorky ponechány vyluhovat do následujícího dne. Po dalším protřepání byla změřena elektrická vodivost výluhů (konduktometr inoLab Cond Level 1 se sondou wtW TetraCon 325), vzorky byly usmrceny varem po 30 minut a ponechány do následujícího dne pro opětovné protřepání a změření vodivosti výluhů z mrtvých pletiv. Relativní elektrická vodivost EL byla počítána jako podíl vodivosti výluhů z živých pletiv na celkové vodivosti po usmrcení, vyjádřený v procentech podle vzorce

$$EL = \text{vodivost živých pletiv} / \text{vodivost mrtvých pletiv} * 100$$

(COLOMBO et al. 1984; SARVAŠ 1999).

Fluorescence chlorofylu byla měřena přístrojem FluorPen 110 (PSI – Photon Systems Instruments, spol. s r. o., – Drásov, ČR) u jehlic borovice, douglasky a smrku. Jehlice byly vkládány do uzavíracích svorek vrchní (adaxiální) stranou nahoru a ponechávány v temné místnosti minimálně 30 minut. Vlastní měření probíhalo v částečně zatemněné místnosti. Hodnocen byl kvantový výtěžek fluorescence F_v/F_m . Jedná se o poměr variabilní fluorescence (rozdílu mezi bazální a maximální fluorescencí) k maximální fluorescenci po osvětlení vzorku adaptovaného na tmou ($F_m - F_0$)/ $F_m = F_v/F_m$ (MOHAMMED et al. 1995).

Průkaznost výsledků byla zjišťována analýzou variance s následným hodnocením Scheffého testem v programu Statistica.



Obr. 1.

Průběh průměrných, maximálních a minimálních teplot a 24hodinových srážek na podzim 2018; šipky znázorňují termíny jednotlivých hodnocení odolnosti k mrazu

Fig. 1.

The course of average, maximum and minimum temperatures and 24-hour precipitation in autumn 2018; the arrows show the dates of the individual frost resistance assessments

VÝSLEDKY A DISKUSE

Vznik **barevných změn** jako reakce částí rostlin na vystavení mrazovým teplotám byl hodnocen dva týdny po mražení (obr. 2). V prvním termínu hodnocení (6. listopadu) je patrné výrazné poškození pletiv mrazem u všech dřevin. Nejsilnější bylo u douglasky, dubu a buku. Na konci listopadu a na začátku ledna již bylo pozorováno jen minimální poškození rostlinných pletiv mrazem, což znamená, že u všech dřevin se během listopadu vyvinula značná odolnost k mrazu. Výjimku tvořila douglaska, kde se největší rozvoj odolnosti projevil až v prosinci, tj. mezi 2. a 3. termínem hodnocení.

Rychlou metodou indikující změny, ke kterým dochází během vystavení rostlin mrazu, je **měření elektrického odporu** dřevnatých částí větví (obr. 3), které spočívá v zapíchnutí sondy se dvěma jehlami do dřeva větve a odečtení hodnot elektrického odporu na displeji přístroje.

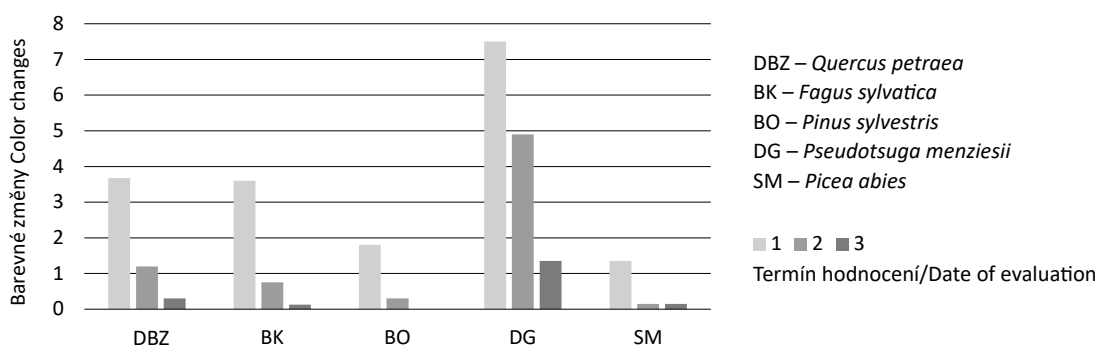
Poškození buněčných membrán mrazem vede k vylití elektrolytů z buněk do mezibuněčných prostor, a tím k výraznému snížení elektrického odporu. U nepoškozených pletiv jsou hodnoty poměru R_1/R_2 blízké 1, vyšší hodnoty signalizují větší poškození (GLERUM 1985).

Na rozdíl od hodnocení barevných změn bylo určité zvýšení poměru elektrického odporu R_1/R_2 bazálních částí větví pozorováno i při hod-

nocení na konci listopadu (2. termín). Jako nejcitlivější k mrazu se při tomto měření opět jevila douglaska tisolistá. Nejmenší změny během podzimu byly pozorovány u dubu zimního a smrku ztepilého.

Další metodou používanou pro hodnocení odolnosti vůči mrazu je měření **relativní elektrické vodivosti výluhů** z částí rostlin vystavených mrazu. Také tato metoda je založena na skutečnosti, že poškozená nebo mrtvá pletiva uvolňují do vody podstatně více elektrolytů než pletiva živá s nepoškozenými buněčnými membránami (RITCHIE, LANDIS 2006). V našich pokusech byly pro toto měření použity bezlisté bazální části hodnocených větví.

Hodnoty relativní elektrické vodivosti výluhů vyšší než 50 %, získané při měření na začátku listopadu, signalizovaly značné poškození větvíček mrazem zejména u douglasky, dubu a buku (obr. 4). Určité poškození naznačily i hodnoty vodivosti výluhů u borovice lesní. Ve druhém termínu měření (26. 11. 2018) se s výjimkou douglasky hodnoty elektrické vodivosti výluhů snížily pod 40 %. U listnatých dřevin a borovice pak již mezi koncem listopadu a začátkem ledna nedošlo prakticky k žádným změnám, zatímco u douglasky se ještě v té době odolnost k mrazu zvýšila (vodivost výluhů klesla). U smrku ztepilého byla relativní vodivost výluhů z větvíček poměrně vysoká a během podzimu a zimy klesala jen málo. U této dřeviny se tedy elek-

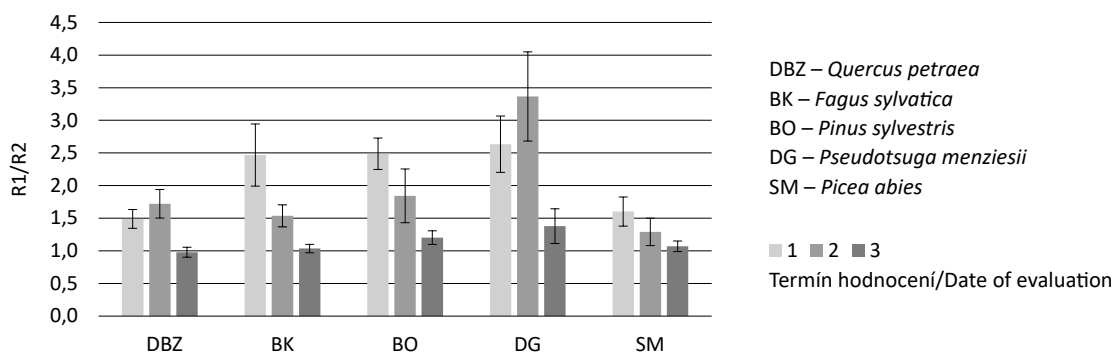


Obr. 2.

Barevné změny pletiv mražených větví v závislosti na termínu hodnocení (1 = 6. 11. 2018, 2 = 26. 11. 2018, 3 = 8. 1. 2019)

Fig. 2.

Color changes of tissues of frozen branches depending on the evaluation date (1 = 6. 11. 2018, 2 = 26. 11. 2018, 3 = 8. 1. 2019)



Obr. 3.

Poměr elektrického odporu větví před a po jejich vystavení mrazu (R_1/R_2) v závislosti na termínu hodnocení (1 = 6. 11. 2018, 2 = 26. 11. 2018, 3 = 8. 1. 2019); svislé úsečky představují interval spolehlivosti pro 0,05% hladinu významnosti

Fig. 3.

The ratio of the electrical resistance of the branches before and after their exposure to frost (R_1/R_2) depending on the evaluation date (1 = 6. 11. 2018, 2 = 26. 11. 2018, 3 = 8. 1. 2019); the vertical bars represent the confidence interval for the 0.05% level of significance

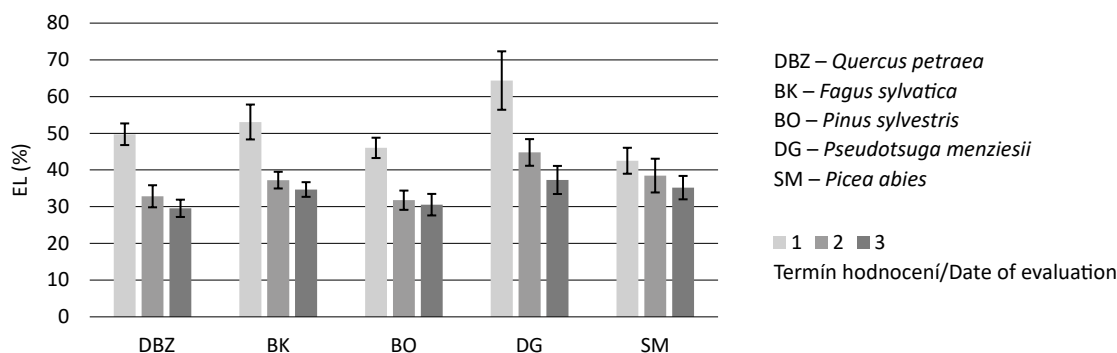
trická vodivost výluhů z dřevnatých částí větví nejevila jako vhodný indikátor vývoje podzimní odolnosti.

Za jednoduchou a spolehlivou metodu pro hodnocení podzimních změn fyziologického stavu rostlin je považováno měření **fluorescence chlorofylu**. Nejčastější zjišťovanou charakteristikou je poměr variabilní a maximální fluorescence vzorku adaptovaného na tmu F_v/F_m . Pro zjišťování odolnosti k mrazu se používá měření fluorescence jehličí po vystavení mrazovým teplotám. Nepoškozené jehličnany mají typicky hodnoty F_v/F_m mezi 0,70 až 0,83 nebo mírně nižší v zimě. Když po vystavení mrazu tyto hodnoty klesnou pod 0,60, signalizují závažné poškození fotosyntetických procesů (RITCHIE, LANDIS 2005).

Na obr. 5 je patrný velmi silný pokles hodnot F_v/F_m , způsobený vystavením nadzemních částí sazenic mrazovým teplotám u všech dřevin v prvním termínu hodnocení, což indikuje výrazné poškození asimilačního aparátu. Ve druhém termínu na konci listopadu již bylo silné poškození asimilačního aparátu pozorováno pouze u sazenic douglasky. Ve třetím termínu na začátku ledna nedošlo u smrku

a borovice k žádnému ovlivnění asimilačního aparátu mrazem a jejich hodnoty F_v/F_m byly stejné před i po vystavení vzorků nízkým teplotám. Poškození asimilačního aparátu (pokles hodnot F_v/F_m po mrazu) bylo pozorováno pouze u sazenic douglasky, a to v mnohem menším rozsahu než v předchozích dvou termínech.

Výsledky podzimních měření ukázaly nízkou odolnost k mrazu sledovaných dřevin v prvním termínu hodnocení (6. 11. 2018) a její zvyšování během listopadu. Tento poměrně pozdní vývoj odolnosti k mrazu zřejmě souvisel s velmi teplým podzimem, kdy se s výjimkou několika deštivých dnů v říjnu průměrná denní teplota pohybovala nad 10 °C až do desátého listopadu (obr. 1). Někteří autoři pozorovali v obdobích s neobvykle mírným podzimem a zimou nízkou odolnost k mrazu (BEUKER et al. 1998). Skutečnost, že nízké teploty podporují zvyšování odolnosti k mrazu, je uváděna řadou autorů (BEUKER et al. 1998; GROSSNICKLE, SOUTH 2014). Protože různé druhy dřevin mají specifické průběhy podzimního vývoje odolnosti, je obtížné definovat univerzální pěstební postupy pro všechny regionální programy obnovy lesa (GROSSNICKLE, SOUTH 2014).

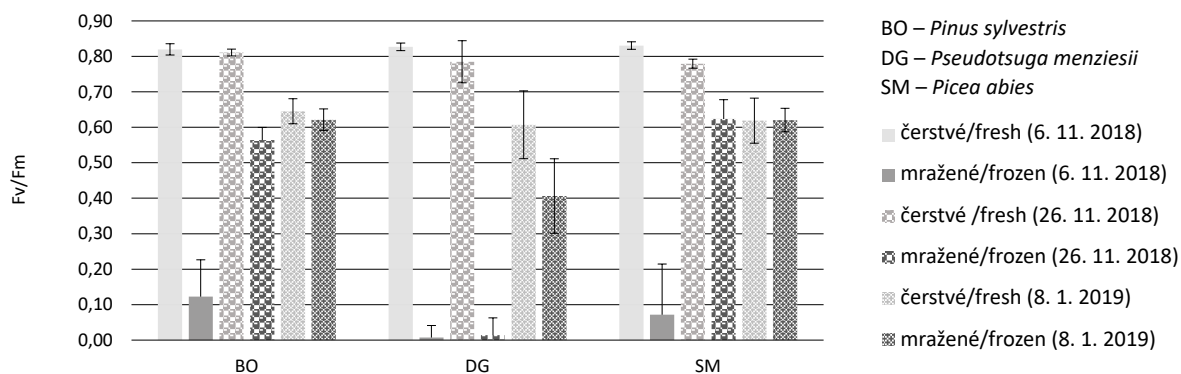


Obr. 4.

Relativní elektrická vodivost mražených větví v závislosti na termínu hodnocení (1 = 6. 11. 2018, 2 = 26. 11. 2018, 3 = 8. 1. 2019); svislé úsečky představují interval spolehlivosti pro 0,05% hladinu významnosti

Fig. 4.

Relative electrolyte leakage of frozen branches depending on the evaluation date (1 = 6. 11. 2018, 2 = 26. 11. 2018, 3 = 8. 1. 2019); the vertical bars represent the confidence interval for the 0.05% level of significance



Obr. 5.

Kvantový výtěžek fluorescence chlorofylu F_v/F_m čerstvých a mražených jehlic v různých termínech hodnocení (1 = 6. 11. 2018, 2 = 26. 11. 2018, 3 = 8. 1. 2019); svislé úsečky představují interval spolehlivosti pro 0,05% hladinu významnosti

Fig. 5.

Quantum yield of chlorophyll fluorescence F_v/F_m of fresh and frozen needles at different evaluation dates (1 = 6. 11. 2018, 2 = 26. 11. 2018, 3 = 8. 1. 2019); the vertical bars represent the confidence interval for the 0.05% level of significance

Hodnocení vývoje odolnosti k mrazu ukázalo nejnižší mrazuvzdornost u douglasky tisolisté. Na konci listopadu, kdy se již ostatní dřeviny jeví jako odolné, docházelo u douglasky ještě k výraznému poškození nízkou teplotou při mrazovém testu. Vyšší odolnost u ní byla pozorována až ve třetím termínu hodnocení, tj. na začátku ledna, ale i v té době byla slabší než u ostatních dřevin. Větší citlivost a pozdější vývoj odolnosti k mrazu u douglasky popisuje i MALQVIST et al. (2017). Potřebu dostatečně dlouhé podzimní aklimatizace s nižšími teplotami pro vývoj odolnosti ke stresům a schopnosti snášet skladování uvádí GROSSNICKLE a SOUTH (2014).

Přestože změny, ke kterým docházelo mezi jednotlivými termíny hodnocení, byly podle hodnocení analýzou variance u všech metod výsoce statisticky průkazné, existují mezi jednotlivými metodami určité rozdíly v jejich použitelnosti. Hodnocení barevných změn po vystavení rostlinných pletiv mrazu je standardním indikátorem vývoje zimní odolnosti k nepříznivým faktorům (SIMPSON 1985). Pro rozhodování o možnosti dlouhodobého skladování je však značnou nevýhodou délka trvání testu 10 až 14 dnů.

Měření poměru elektrického odporu větviček nebo kmínků před a po vystavení vzorků mrazovým teplotám (poměr R_1/R_2) poskytuje velmi rychlou indikaci poškození vodivých pletiv. Je to však metoda pouze orientační. Měření odporu je málo spolehlivé, protože odpor je ovlivňován mnoha faktory a mění se například i podle hloubky a způsobu zapíchnutí měřících jehel. Z používaných metod je měření elektrického odporu kmínků považováno za nejméně přesnou metodu (VANĚK et al. 2014). Na rozdíl od ostatních metod signalizovalo měření poměru elektrického odporu R_1/R_2 ještě při měření na konci listopadu určité poškození pletiv mrazovým testem u všech dřevin. Tato odlišnost výsledků může souviset se skutečností, že odolnost k mrazu se vyvíjí odlišně u různých pletiv (RITCHIE, LANDIS 2003; SØGAARD et al. 2009).

Měření elektrické vodivosti výluhů ze segmentů dřevnatých částí větví patří k rychlejší metodám hodnocení. Poskytuje výsledky během tří dnů. Získané poznatky odpovídaly výsledkům hodnocení barevných změn pletiv i fluorescence chlorofylu. Metoda se ukazuje jako vhodná pro hodnocení podzimní odolnosti zejména u listnatých druhů dřevin.

Měření fluorescence chlorofylu po vystavení vzorků mrazu je rychlá, velmi citlivá a spolehlivá metoda pro hodnocení podzimní odolnosti sazenic jehličnanů. Výsledky jsou známy bezprostředně po měření (2. den). Omezením je použitelnost metody pouze pro neopadavé jehličnaté dřeviny.

Z uvedených výsledků vyplývá, že každá ze zkoušených metod má své výhody a svá omezení. Jejich použití závisí na druhu dřevin a aktuálních požadavcích. Doporučená je kombinace alespoň dvou metod.

ZÁVĚR

Hodnocení podzimního vývoje odolnosti k mrazu u několika druhů dřevin vycházelo z vystavení částí rostlin mrazu a následného zjišťování rozsahu poškození. Z použitých rychlých metod se pro jehličnany ukázalo jako nejpřesnější a nejjednodušší měření fluorescence chlorofylu. U listnatých dřevin je vhodné měření relativní elektrické vodivosti výluhů. Výsledky je možno potvrdit vizuálním hodnocením barevných změn pletiv, které se vyvinou během dvou týdnů po vystavení mrazu. Ze sledovaných dřevin ukázala nejslabší odolnost k mrazu douglaska tisolistá.

Odolnost k mrazu je v těsném vztahu vůči toleranci k mnoha různým stresům, které se vyskytují během vyzvedávání, manipulace, skladování, dopravy a výsadby a může se stát dobrým ukazatelem pro předpovídání skladovatelnosti sadebního materiálu.

Při teplém průběhu počasí na podzim může být nutné pozdržet termín vyzvedávání sadebního materiálu pro dlouhodobé skladování sadebního materiálu. Také termíny podzimní výsadby je vhodné přizpůsobit předchozímu průběhu teplot během podzimu, a to zejména u citlivějších dřevin, jako je například buk lesní, který je vysazován do poloh, kde hrozí následný výskyt mrazových teplot.

Výsledky hodnocení také ukázaly, že podzimní termín výsadby prostočerného sadebního materiálu douglasky tisolisté je velmi riskantní, neboť nástup mrazuvzdornosti je u této dřeviny velmi pomalý.

Poděkování:

Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE-RO0118.

LITERATURA

- BEUKER E., VALTONEN E., REPO T. 1998. Seasonal variation in the frost hardiness of Scots pine and Norway spruce in old provenance experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*, 107: 87–98. DOI: 10.1016/S0378-1127(97)00344-7
- BURR K.E. 1990. The target seedling concepts: Bud dormancy and cold-hardiness. In: Rose, R. et al. (eds.): *Target Seedling Symposium. Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Association. August 13–17, 1990. Rosenberg, Oregon. Fort Collins (Colorado), Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 79–90. General Technical Report RM-200.*
- COLOMBO S.J., WEBB D. P., GLERUM C. 1984. Frost hardiness testing: An operational manual for use with extended greenhouse culture. Ontario, Ministry of Natural Resources. 14 s. *Forest Research Report No. 110.*
- COLOMBO S.J. 1990. Bud dormancy status, frost hardiness. Shoot moisture content, and readiness of black spruce container seedlings for frozen storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115: 302–307. DOI: 10.21273/JASHS.115.2.302
- GLERUM C. 1985. Frost hardiness of coniferous seedlings: principles and applications. In: Duryea, M.L. (ed.): *Evaluating seedling quality: Principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Proceedings of the workshop. Corvallis, October 16–18, 1984. Corvallis, Forest Research Laboratory, Oregon State University: 107–126.*
- GROSSNICKLE S.C., SOUTH D.B. 2014. Fall acclimation and lift/store pathway: effect on reforestation. *The Open Forest Science Journal*, 7: 1–20. DOI: 10.2174/1874398601407010001]
- L'HIRONDELLE S.J., SIMPSON D.G., BINDER W.D. 2006. Overwinter storability of conifer planting stock: operational testing of fall frost hardiness. *New Forests*, 32: 307–321. DOI: 10.1007/s11056-006-9005-8
- LINDSTRÖM A., STATTIN E., GRÄNS D., WALLIN E. 2014. Storability measures of Norway spruce and Scots pine seedlings and assessment of post-storage vitality by measuring shoot electrolyte leakage. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29 (8): 717–724. DOI: 10.1080/02827581.2014.977340
- MALQVIST C., WALLERTZ K., LINDSTRÖM A. 2017. Storability and freezing tolerance of Douglas fir and Norway spruce seedlings grown in mid-Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 32 (1): 30–38. DOI: 10.1080/02827581.2016.1183704

- MARTINCOVÁ J. 1989. Měření odolnosti k mrazu u sazenic jehličnanů jako prostředek pro určování jejich schopnosti snášet dlouhodobé skladování. *Zprávy lesnického výzkumu*, 34 (3): 1–9.
- MOHAMMED G.L., BINDER W.D., GILLIES S.L. 1995. Chlorophyll fluorescence: a review of its practical forestry applications and instrumentation. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 10: 383–410.
- RITCHIE G.A. 1984. Assessing seedling quality. In: Duryea, M.L., Landis, T.D. (eds.): *Forest nursery manual. Production of bareroot seedlings*. Hague, M. Nijhoff: 143–259.
- RITCHIE G.A., LANDIS T.D. 2003. Seedling quality tests: cold hardiness. In: *Forest Nursery Notes*, Summer 2003. Portland, USDA Forest Service Cooperative Forestry: [7 s.] Dostupné na/Available on: <https://rngr.net/publications/fnn/2003-summer>
- RITCHIE G.A., LANDIS T.D. 2004. Seedling quality tests: stress resistance. In: *Forest Nursery Notes*, Winter 2004. Portland, USDA Forest Service Cooperative Forestry: 17–21. Dostupné na/Available on: <https://rngr.net/publications/fnn/2004-winter>
- RITCHIE G.A., LANDIS T.D. 2005. Seedling quality tests: chlorophyll fluorescence. In: *Forest Nursery Notes*, Winter 2005. Portland, USDA Forest Service Cooperative Forestry: 12–16. Dostupné na/Available on: <https://rngr.net/publications/fnn/2005-winter>
- RITCHIE G.A., LANDIS T.D. 2006. Seedling quality tests: root electrolyte leakage. In: *Forest Nursery Notes*, Winter 2006. Portland, USDA Forest Service Cooperative Forestry: 6–10. Dostupné na/Available on: <https://rngr.net/publications/fnn/2006-winter>
- SARVAŠ M. 1999. Možnosti použitia merania straty elektrolytu na zistenie kvality sadbového materiálu. *Journal of Forest Science*, 45 (3): 131–138.
- SIMPSON D.G. 1985. When to measure seedling quality in bareroot nurseries. In: Landis, T. (ed.): *Proceedings, Western Forest Nursery Council Intermountain Nurseryman's Association: combined meeting. August 13–15. Fort Collins, Colorado. Ogden, USDA Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station: 78–83. Forest Service general technical report. INT, Intermountain Research Station, 185.*
- SIMPSON D.G. 1990. Frost hardiness, root growth capacity, and field performance relationships in interior spruce, lodgepole pine, Douglas-fir, and western hemlock seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, 20: 566–572.
- SØGAARD G., GRANHUS A. JOHNSEN Ø. 2009. Effect of frost nights and day and night temperature during dormancy induction on frost hardiness, tolerance to cold storage and bud burst in seedlings of Norway spruce. *Trees*, 23: 1295–1307. DOI: 10.1007/s00468-009-0371-7
- TANAKA Y., BROTHERTON P., HOSTETTER S., CHAPMAN D., DYCE S., BELANGER J., JOHNSON B., DUKE S. 1997. The operational planting stock quality testing program at Weyerhaeuser. *New Forests*, 13: 423–437. DOI: 10.1023/A:1006567231885
- VANĚK P., MAUER O., CAFOUREK J. 2014. Metodika hodnocení poškození asimilačních orgánů jehličnatých dřevin mrazem a možnost zvyšování odolnosti sadebního materiálu douglasky tisolisté proti pozdním mrazům. *Certifikovaná metodika*. Brno, Mendelova univerzita v Brně: 32 s.

POSSIBILITIES OF EVALUATION OF AUTUMN CHANGES IN FROST RESISTANCE OF PLANTING STOCK OF DIFFERENT TREES

SUMMARY

The physiological condition of planting stock of oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), European beech (*Fagus sylvatica* L.), Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) was assessed in the autumn of 2018. After exposing the shoots to frost, the tissue damage was evaluated by measuring the ratio of electrical resistance before and after freezing (R_1/R_2), the relative electrical conductivity of shoots leakage, and the occurrence of color changes in different tissues and chlorophyll fluorescence of the needles. The frost resistance of the monitored tree species was relatively weak in the first evaluation period (6 November, 2018) and increased during November. This relatively late development of frost resistance was probably related to a very warm autumn; with the exception of a few rainy days in October, the average daily temperature was above 10°C until 10 November (Fig. 1).

The weakest frost resistance was observed with Douglas fir. At the end of November, when the other trees appeared to be resistant, the Douglas fir was still significantly damaged by (the low temperature during) the freezing test. Higher resistance was observed in the 3rd evaluation period at the beginning of January, but even then it was weaker than the other tree species.

Although different methods for assessing frost damage to seedlings have given similar results, there are differences in their applicability. Evaluation of color changes in plant tissues (Fig. 2) is a standard indicator of the development of winter resistance to adverse factors. However, the length of the test is 10–14 days, which is a significant disadvantage for operational long-term storage decision. A very quick indication of damage to conductive tissues is provided by measuring the ratio of the electrical resistance of shoots or trunks before and after exposing the samples to freezing temperatures (ratio R_1/R_2 – Fig. 3). However, electrical resistance measurements are not very reliable, because the results are influenced by many factors and vary, for example, according to the depth or method of insertion of the measuring stylus.

Determining the electrical conductivity of extracts from segments of woody parts of branches (Fig. 4) is one of the faster evaluation methods. This method provides results within three days and (proves) appears to be suitable for the evaluation of autumn resistance, especially in deciduous tree species.

Measurement of chlorophyll fluorescence after exposure of samples to frost (Fig. 5) appears to be a very sensitive and reliable method for evaluating the autumn resistance of conifer seedlings. The results are known immediately after the measurement (already in two days). A limitation is the applicability of the method only to non-deciduous coniferous trees.

For deciduous trees, it is appropriate to measure the relative electrical conductivity of shoots leakage. The results can be confirmed by visual evaluation of the color changes in the tissues, which develop within two weeks after exposure to frost.

Frost resistance is closely related to the tolerance to many different stresses that occur during lifting, handling, storage and transport of planting stock. It can be a good indicator for predicting the storability of planting material and possibly also for planning (the dates) of autumn planting.

Zasláno/Received: 22. 10. 2020

Přijato do tisku/Accepted: 15. 03. 2021