

OBSAH ŽIVIN VE DVOU NEJMLADŠÍCH ROČNÍCÍCH JEHLIC SMRKU ZTEPILÉHO A JEDLE BĚLOKORÉ PŮVODEM Z PŘIROZENÉ OBNOVY

FOLIAR NUTRIENTS IN CURRENT AND ONE-YEAR-OLD NEEDLES OF NATURALLY-REGENERATED NORWAY SPRUCE AND SILVER FIR SAPLINGS

DAVID DUŠEK ✉ - DUŠAN KACÁLEK - JIŘÍ NOVÁK - MARIAN SLODIČÁK

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

✉ e-mail: dusek@vulhmop.cz

ABSTRACT

This study focuses on foliar nutrients contents in current- and one-year-old needles that can be regarded as a proxy of health condition of the saplings on the site, and also can help us estimate a litterfall nutrient return difference between the silver fir (SF) and Norway spruce (NS). The new forest stand dominated by SF and NS was of natural regeneration origin from 120-year-old spruce-fir stand; all mature spruces were cut as salvage crop from the stand at the time of investigation. The saplings of SF and NS with a few other species varied in height ranging from 1 m to 4 m. Despite spruces of all age classes show needle yellowing in the area of interest, SF and NS saplings show no color changes. The samples of current-year and one-year-old needles were taken from the 2nd–3rd whorls of randomly selected NS saplings; each of these NS were paired with the nearest SF saplings of comparable growth. Totally 20 NS and 20 SF trees were sampled, measured their height and last three years increments. Foliar contents of N, P, K, Ca and Mg were analyzed in laboratory. The logarithmically transformed data were statistically processed using one-way ANOVA with block design and RDA. Nutrient concentrations and also nutrient ratios of NS and SF current-year needles were similar; NS was higher in N. One-year-old SF needles were higher in K and lower in Mg. Higher N/K in NS and higher N/Mg, K/Mg in SF were found. Despite below-optimal contents of Ca and Mg in both species, no symptoms were shown. SF needles did not differ from NS ones.

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

Klíčová slova: jedle bělokora; smrk ztepilý; koncentrace živin; přirozená obnova

Key words: silver fir; Norway spruce; nutrient contents; natural regeneration

ÚVOD

Jedle bělokora v současné době zaujímá jen 1,2 % porostní plochy lesů v České republice, ačkoli je snaha její zastoupení zvýšit na minimálně 4,4 % (ZPRÁVA 2019). Na mnoha stanovištích byla jedle v minulosti nahrazena smrkem ztepilým, takže se s oběma dřevinami setkáváme v podobných růstových podmínkách nebo i ve stejných porostech. Jedle a smrk byly častým předmětem vzájemného srovnávání např. z pohledu fyziologie (GRASSI, BAGNARESI 2001; GRASSI, GIANNINI 2005), genekologie (FRANK et al. 2017), obsahu živin (MUSIO et al. 2004; RATKNIČ et al. 2013) a v poslední době také vlastností nadložního humusu a půdy (TŘEŠTÍK, PODRÁZSKÝ 2017; PODRÁZSKÝ et al. 2018). Jedle (BERT 1993) i smrk (KAUPENJOHANN et al. 1989) v minulosti negativně reagovaly žloutnutím a ztrátou jehlic na epizody sucha nebo antropogenní znečištění ovzduší; tyto symptomy chřadnutí reflektovaly také deficitní obsahy základních živin v jehlicích (ROBERTS et al. 1989; HUETTL 1989, 1993; POTOCÍČ et al. 2007).

Jedle bělokora je v příloze současně platné vyhlášky č. 298/2018 Sb. řazena mezi meliorační a zpevňující dřeviny. Zpevňující funkce jedle je spatřována v lepším zakotvení v půdě, spojeným s tvorbou kůlovitého (v mládí) a později srdčitého kořenového systému (FÉR, POKORNÝ 1993). Dobrá meliorační funkce jedle, spočívající v návratu částí živin zpět do půdy ve formě opadu, je však doložena mnohem méně (TŘEŠTÍK, PODRÁZSKÝ 2017; PODRÁZSKÝ et al. 2018).

V naší studii jsme před realizací experimentu předpokládali příznivější, tedy vyšší koncentrace živin v živých jehlicích jedle ve srovnání se smrkem, a tím i odlišnou schopnost jedle přijímat živiny ve srovnatelných podmínkách a následně také pravděpodobně příznivěji ovlivňovat půdní vlastnosti opadem. Cílem této práce bylo vyhodnotit kon-

valy také deficitní obsahy základních živin v jehlicích (ROBERTS et al. 1989; HUETTL 1989, 1993; POTOCÍČ et al. 2007).

centraci základních živin: dusíku, fosforu, draslíku, vápníku a hořčíku ve dvou nejmladších ročníčích jehlic jedle v porovnání se srovnatelně výškově a věkově vyspělým smrkem na témže stanovišti.

MATERIÁL A METODIKA

Lesní porost, kde bylo provedeno šetření, se nachází na revíru Huzová, LHC Lesy města Olomouce, PLO 29 Nížký Jeseník. Stanovištně je svěží jedlová bučina (5S), nadmořská výška činí 637 m. Mateřský porost nad přirozenou obnovou tvořil smrko-jedlovou ředinu v mýtním věku (ca 120 let), kde byl smrk v důsledku nahodilých těžeb již téměř zcela odstraněn. Přirozená obnova pod proředeným porostem se skládala převážně z výškově diferencovaného zmlazení smrku a jedle se sporadickou příměsí dalších dřevin. Jedinci přirozené obnovy nevykazovali příznaky žloutnutí ani jiných barevných změn, přestože se porost nalézá v oblasti, kde dochází k chřadnutí (žloutnutí) smrkových porostů již od stadia mlazin a nárostů.

Na podzim 2017 byl proveden odběr asimilačního aparátu jedinců přirozené obnovy smrku a jedle. Z jedinců odrůstajícího zmlazení o výšce 1–4 m byl z horního 2.–3. přeslenu odebrán vzorek dvou nejmladších ročníků jehlic. Výběr byl proveden párově, kdy ke každému náhodně zvolenému smrku byla vybrána nejbližší jedle srovnatelného vzrůstu. Celkem byly odebrány vzorky z 20 smrků a 20 jedlí (40 × 2 ročníky = 80 vzorků). U všech jedinců byla zaznamenána celková výška stromu a výškové přírůsty za poslední tři roky.

Laboratorně byl stanoven obsah dusíku, fosforu, draslíku, vápníku a hořčíku. Koncentrace dusíku byla stanovena Kjeldahlovou metodou (KIRK 1950), fosfor byl určen spektrofotometricky (MACHÁČEK, MALÁT 1982). Ke stanovení draslíku byl použit absorpční spektrofotometr (NOVOZAMSKÝ et al. 1983). Vápník a hořčík byl stanoven atomovou absorpcí (AAS) po přidání lanthanu (RAMAKRISHNA et al. 1966).

Rozdíly v obsahu živin (a jejich poměry: N/P, N/K, N/Ca, N/Mg, K/Ca, K/Mg) v jehlicích smrku a jedle byly analyzovány jednofaktoremovou analýzou variancí s blokovým uspořádáním. Pro vícerozměrnou analýzu byla použita přímá ordinační technika – analýza redundancí (RDA). V rámci RDA byl proveden vícerozměrný permutační test (s použitím bloků jako kovariáty). Pomocí jednorozměrných i vícerozměrných metod byl také analyzován vztah mezi koncentrací živin a výškou (resp. výškovým přírůstem) stromů, z nichž byl proveden odběr. Pro zlepšení normality výběru, homogenity rozpty-

lů a dosažení aditivity modelu byla data analyzována v logaritmické transformaci.

VÝSLEDKY

Koncentrace živin v prvním ročníku jehlic smrku a jedle byly více-méně srovnatelné, s výjimkou vyšší koncentrace dusíku v jehlicích smrku (tab. 1). Vícerozměrný permutační test z RDA byl statisticky neprůkazný ($p = 0,31$) a kanonická osa vysvětlovala méně než 2 % variability dat. Jednorozměrný test ANOVA však byl průkazný pro vyšší koncentraci dusíku u smrku ($p = 0,003$). Více než jedna čtvrtina jedinců jedle vykazovala v prvním ročníku jehlic deficit v obsahu dusíku. Část jedinců jedle také vykazovala deficit v obsahu vápníku a hořčíku (obr. 1).

V druhém ročníku jehlic byly zaznamenány především rozdíly v koncentraci draslíku a hořčíku. Vícerozměrný permutační test z RDA (obr. 2) byl statisticky průkazný ($p = 0,01$) a kanonická osa vysvětlovala ca 7 % variability v datech. V jednorozměrném testu ANOVA byla průkazně vyšší koncentrace draslíku v jehlicích jedle ($p = 0,002$) a průkazně vyšší koncentrace hořčíku ve smrku ($p < 0,001$). Koncentrace draslíku však byla dostatečná u obou dřevin. Z hlediska nedostatku živin vykazovalo značné procento jedle nedostatek hořčíku na rozdíl od smrku, kde žádný z analyzovaných vzorků nebyl pod hranici nedostatku (obr. 3). Část vzorků jedle také vykazovala nedostatek dusíku a vápníku. Nedostatek dusíku byl zjištěn i u části vzorků smrku.

Poměry koncentrací živin byly v prvním ročníku jehlic smrku a jedle podobné (obr. 4). Vícerozměrný permutační test z RDA byl statisticky neprůkazný ($p = 0,14$) a kanonická osa vysvětlovala jen 4 % variability dat. Jednorozměrný test ukázal průkazně vyšší ($p < 0,001$) poměr N/K u smrku.

Ve druhém ročníku jehlic byly rozdíly v poměru koncentrací mezi smrkem a jedlí patrnější. Permutační test z RDA byl statisticky průkazný ($p < 0,002$) a kanonická osa vysvětlovala 7 % variability dat (obr. 5). Jednorozměrný test ukázal průkazně vyšší ($p < 0,001$) poměr N/K u smrku. Dále byl zjištěn průkazně vyšší poměr N/Mg ($p = 0,003$) a K/Mg ($p < 0,001$) u jedle (obr. 6).

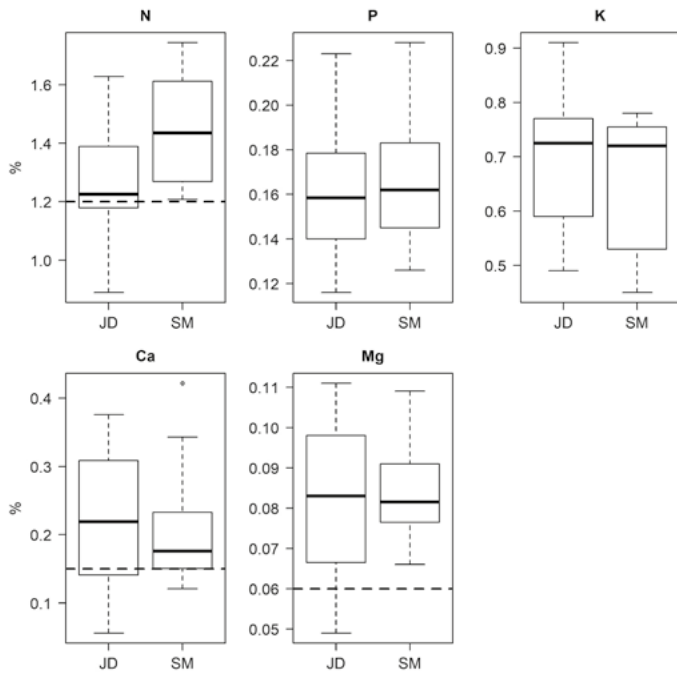
Z průzkumové analýzy dat, ani z testů ANOVA a vícerozměrné RDA nebyl zjištěn žádný zřejmý vztah mezi výškou stromu (resp. jeho výškovým přírůstem za poslední tři roky) a koncentrací živin v jehlicích. V rozpětí výšek 1–4 m pravděpodobně lze výšku stromu při analýze koncentrace živin v jehlicích zanedbat.

Tab. 1.

Koncentrace živin v jehlicích jedle bělokoré a smrku ztepilého
Foliar nutrient's contents in silver fir (SF) and Norway spruce (NS) needles

Živina/ Nutrient	Ročník/ Year	Jedle/Fir		Smrk/Spruce	
		Průměr/Mean	S.D.	Průměr/Mean	S.D.
N (%)	1	1,268	0,1977	1,439	0,1749
	2	1,330	0,1988	1,269	0,1431
P (%)	1	0,159	0,0267	0,167	0,0294
	2	0,140	0,0230	0,133	0,0246
K (%)	1	0,696	0,1256	0,657	0,1251
	2	0,656	0,1226	0,522	0,0841
Ca (%)	1	0,221	0,0996	0,206	0,0782
	2	0,366	0,1423	0,374	0,1559
Mg (%)	1	0,081	0,0202	0,084	0,0115
	2	0,064	0,0164	0,078	0,0132

S.D. – směrodatná odchylka/standard deviation

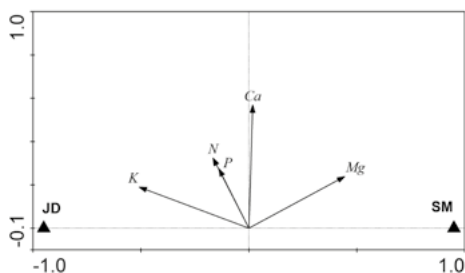


Obr. 1.

Krabicové grafy koncentrace živin v prvním ročníku jehlic. Vodorovná přerušovaná čára označuje hranici nedostatku podle ICP Forests; SM – smrk; JD – jedle; N – dusík; P – fosfor; K – draslík; Ca – vápník; Mg – hořčík

Fig. 1.

Boxplots show nutrient concentrations in current-year needles. Horizontal dashed line denotes level of deficit according to ICP Forests; SM – Norway spruce (NS); JD – silver fir (SF); N – nitrogen; P – phosphorus; K – potassium; Ca – calcium; Mg – magnesium



Obr. 2.

Ordinační diagram RDA (analýza redundancí) pro druhý ročník jehlic; SM – smrk; JD – jedle; N – dusík; P – fosfor; K – draslík; Ca – vápník; Mg – hořčík

Fig. 2.

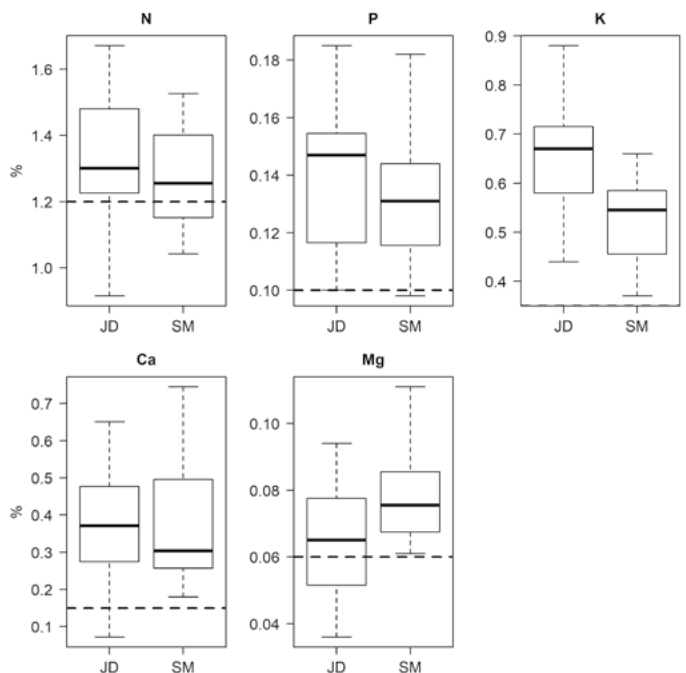
Ordination diagram RDA for one-year-old needles; SM – Norway spruce (NS); JD – silver fir (SF); N – nitrogen; P – phosphorus; K – potassium; Ca – calcium; Mg – magnesium

DISKUSE

Koncentrace živin v asimilačních orgánech dřevin jsou dlouhodobě užívány k odhadu úrovně výživy porostů (GÖTTLEIN et al. 2011). Hodnoty optimální foliární koncentrace živin pro smrk uvádí např. HÜTTL (1986), BERGMANN (1988), metodika ICP Forests (UNECE 2006), MELLERT, GÖTTLEIN (2012), pro jedli BERGMANN (1988). Podle BERGMANN (1988) byla více než 1/2 hodnot v prvním ročníku jehlic jedle pod hranicí optima z hlediska obsahu dusíku a všechny vzorky jedle pod hranicí optima z hlediska obsahu vápníku a hořčíku. Při srovnání s metodikou ICP Forests, která uvádí nižší hodnoty optimálních zásob vápníku a hořčíku, je pod hranicí optima 1/4, resp. 1/5 vzorků prvního ročníku jehlic jedle. Při porovnání optimálních hodnot uvedených BERGMANNEM (1988) pro smrk byly všechny vzorky prvního ročníku jehlic smrku pod hranicí optimální výživy vápníkem a hořčíkem. Při použití hodnot ICP Forests se pouze v případě vápníku u 1/4 vzorků pohybovala koncentrace pod hranicí optima. Přesto nebyly v naší studii pozorovány případy barevných změn asimilačního aparátu, které by svědčily o výrazném nedostatku v příjmu hořčíku nebo vápníku.

Pro posuzování úrovně výživy jsou důležité také vzájemné poměry živin (ŠRÁMEK et al. 2009; GÖTTLEIN 2017). Při porovnání optimálních poměrů živin, které uvádí GÖTTLEIN 2017, byly v naší studii mimo interval optima zjištěny vyšší poměry N/Ca a K/Ca u smrku i jedle, dále vyšší poměr N/Mg a K/Mg u jedle. Poměry N/P a N/K lze u obou dřevin považovat za optimální.

Úroveň výživy prvních dvou nejmladších ročníků jehlic nekořespon-

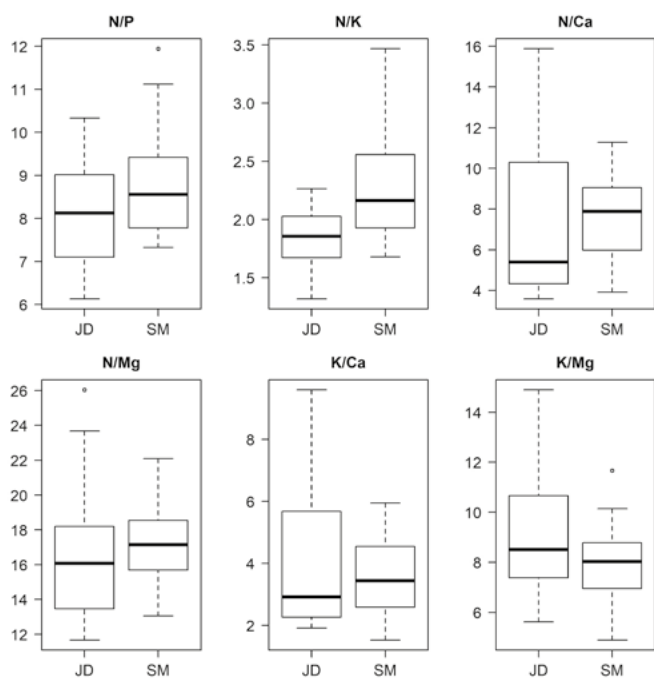


Obr. 3.

Krabicové grafy koncentrace živin v druhém ročníku jehlic. Vodorovná přerušovaná čára označuje hranici nedostatku podle ICP Forests; SM – smrk; JD – jedle; N – dusík; P – fosfor; K – draslík; Ca – vápník; Mg – hořčík

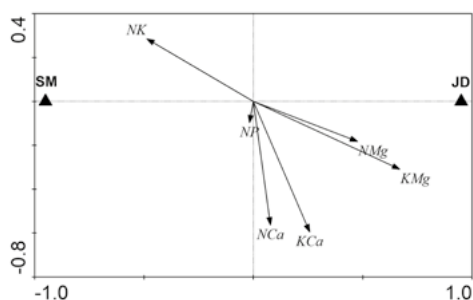
Fig. 3.

Boxplots show nutrient concentrations in one-year-old needles. Horizontal dashed line denotes level of deficit according to ICP Forests; SM – Norway spruce (NS); JD – silver fir (SF); N – nitrogen; P – phosphorus; K – potassium; Ca – calcium; Mg – magnesium



Obr. 4. Krabicové grafy poměru koncentrací živin v prvním ročníku jehlic; SM – smrk; JD – jedle; N – dusík; P – fosfor; K – draslík; Ca – vápník; Mg – hořčík

Fig. 4. Boxplots show ratios of nutrient concentrations in current-year needles; SM – Norway spruce (NS); JD – silver fir (SF); N – nitrogen; P – phosphorus; K – potassium; Ca – calcium; Mg – magnesium



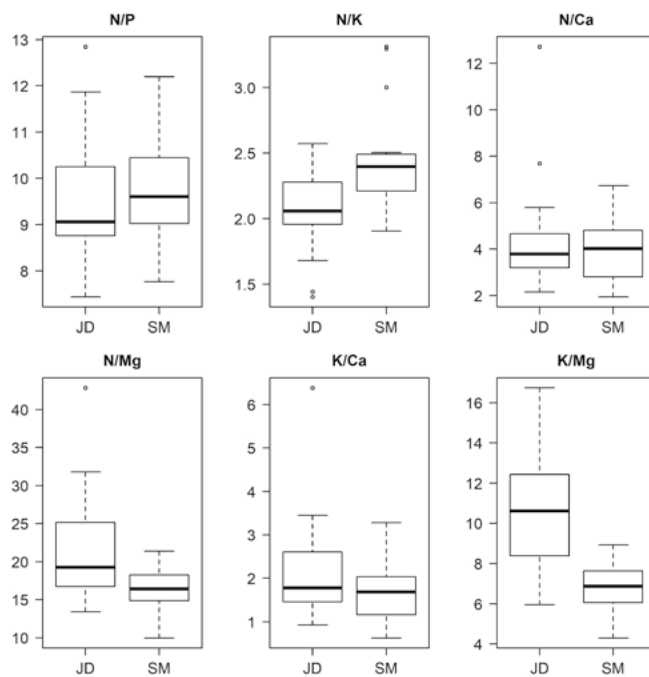
Obr. 5. Ordinační diagram RDA (analýza redundancí) pro poměry živin v druhém ročníku jehlic; SM – smrk; JD – jedle; N – dusík; P – fosfor; K – draslík; Ca – vápník; Mg – hořčík

Fig. 5. Ordination diagram RDA for nutrient ratios in one-year-old needles; SM – Norway spruce (NS); JD – silver fir (SF); N – nitrogen; P – phosphorus; K – potassium; Ca – calcium; Mg – magnesium

duje s úrovní obsahu živin v opadu. Vlivem retranslokace živin dochází k úbytku koncentrací hořčíku, draslíku, fosforu a dusíku ve starších ročnících jehlic (SMETHURST 2004; SZYMURA 2009) a opad je o tyto živiny chudší (SOHRT et al. 2018). Koncentrace vápníku naopak roste se stářím jehlic (KAYAMA et al. 2002; SZYMURA 2009). Starší ročníky jehlic neopadávají najednou, ale ztrácí olistění postupně. Životnost jehlic je druhově specifická (KAYAMA et al. 2002, 2007) a je ovlivněna i stanovištními podmínkami (REICH et al. 2014). Při hodnocení melioračního účinku je pravděpodobně nutné zohlednit i rozdílnou rychlost rozkladu jehlic smrku a jedle.

Je tedy zřejmé, že odvozovat meliorační účinek dřeviny pouze na základě stavu výživy nejmladších jehlic je možné jen v omezené míře. V souladu s naším zjištěním o srovnatelné úrovni výživy smrku a jedle je zjištění TŘEŠTÍKA a PODRÁZSKÉHO (2017), kteří konstatovali podobný stav nadložního humusu pod smrkovým a jedlovým porostem. Autoři nicméně zjistili nižší obsah celkového hořčíku a příznivější obsah přístupného fosforu a draslíku v jedlovém porostu. PODRÁZKÝ et al. (2018) konstatují v podmínkách Orlických hor vyšší obsah přístupného hořčíku a výměnného hliníku a nižší obsah přístupného vápníku v organominerálním horizontu pod jedlovými kotlíky ve věku 68 let v porovnání se smrkovým porostem.

ZÁVĚR



Obr. 6. Krabicové grafy poměru koncentrací živin v druhém ročníku jehlic; SM – smrk; JD – jedle; N – dusík; P – fosfor; K – draslík; Ca – vápník; Mg – hořčík

Fig. 6. Boxplots show ratios of nutrient concentrations in one-year-old needles; SM – Norway spruce (NS); JD – silver fir (SF); N – nitrogen; P – phosphorus; K – potassium; Ca – calcium; Mg – magnesium

- Koncentrace živin a jejich vzájemné poměry v nejmladším ročníku jehlic zmlazení smrku a jedle byly u obou dřevin velmi podobné. U smrku byla zjištěna vyšší koncentrace dusíku.
- Porovnáním druhého nejmladšího ročníku jehlic smrku a jedle byly zjištěny vyšší koncentrace draslíku a nižší koncentrace hořčíku u jedle. Byl zjištěn vyšší poměr N/K u smrku a vyšší poměr N/Mg a K/Mg u jedle.
- Zjištěné foliární obsahy vápníku a hořčíku byly podle některých literárních zdrojů pod stadiem optima obou sledovaných dřevin. Přesto nebyly pozorovány symptomy spojené s deficitem zmíněných prvků.
- Zjištěné rozdíly nepotvrdily počáteční předpoklad o příznivější koncentraci živin v jehlicích jedle ve srovnání se smrkem, a tím i odlišnou schopnost jedle přijímat živiny ve srovnatelných podmínkách. Meliorační účinek jedle je však třeba posuzovat v širším kontextu z pohledu odlišné rychlosti rozkladu jehlicí, prokořenění půdního profilu apod.

Poděkování:

Příspěvek vznikl na základě institucionální podpory Ministerstva zemědělství České republiky MZE-RO0118 a během řešení projektu QK1910292 „Postupy pro podporu jedle bělokoré v lesním hospodářství ČR“.

LITERATURA

- BERGMANN W. 1988. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Jena, G. Fischer: 762 s.
- BERT G.D. 1993. Impact of ecological factors, climatic stresses and pollution of growth and health of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the Jura mountains: an ecological and dendrochronological study. *Acta Ecologica*, 14 (2): 229–246.
- FÉR F., POKORNÝ J. 1993. Lesnická dendrologie. 1. část: Jehličnany. Praha, Matices lesnická: 131 s.
- FRANK A., SPERISEN CH., HOWE G.T., BRANG P., WALTHERT L., ST. CLAIR J.B., HEIRI C. 2017. Distinct genecological patterns in seedlings of Norway spruce and silver fir from a mountainous landscape. *Ecology*, 98 (1): 211–227.
- GÖTTLEIN A., BAIER R., MELLERT K.H. 2011. Neue Ernährungskennwerte für die forstlichen Hauptbaumarten in Mitteleuropa - Eine statistische Herleitung aus van den Burg's Literaturzusammenstellung. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 182 (9/10): 173–186.
- GÖTTLEIN A. 2017. Ableitung von Nährelementrelationen für die mitteleuropäischen Hauptbaumarten aus dem Wertebereich normaler Ernährung im Vergleich zu verfügbaren Literaturdaten. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 187 (11/12): 237–246.
- GRASSI G., BAGNARESI U. 2001. Foliar morphological and physiological plasticity in *Picea abies* and *Abies alba* saplings along a natural light gradient. *Tree Physiology*, 21: 959–967.
- GRASSI G., GIANNINI R. 2005. Influence of light and competition on crown and shoot morphological parameters of Norway spruce and silver fir saplings. *Annals of Forest Science*, 62: 269–274. DOI: 10.1051/forest:2005019
- HUETTL R.F. 1989. Liming and fertilization as mitigation tools in declining forest ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 44: 93–118.
- HUETTL R. F. 1993. Mg deficiency - A "new" phenomenon in declining forests - symptoms and effects, causes, recuperation. In: Huettl R.F., Mueller-Dombois D. (eds): *Forest decline in the Atlantic and Pacific Region*. Berlin, Springer, Berlin, Heidelberg: 97–114. DOI: 10.1007/978-3-642-76995-5_7
- HÜTTL R.F. 1986. Neuartige Waldschäden und Nährelementversorgung von Fichtenbeständen in Südwestdeutschland am Beispiel Oberschwaben. *Kali-Briefe*, 17: 1–7.
- KAUPENJOHANN M., ZECH W., HANTSCHER R., HORN R., SCHNEIDER B. U. 1989. Mineral nutrition of forest trees: a regional survey. In: Schulze E. D. et al. (eds): *Forest decline and air pollution. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*, vol. 77. Berlin, Springer: 282–296. DOI: 10.1007/978-3-642-61332-6_13
- KAYAMA M., SASA K., KOIKE T. 2002. Needle life span, photosynthetic rate and nutrient concentration of *Picea glehnii*, *P. jezoensis* and *P. abies* planted on serpentine soil in northern Japan. *Tree Physiology*, 22: 707–716.
- KAYAMA M., KITAOKA S., WANG W., CHOI D., KOIKE T. 2007. Needle longevity, photosynthetic rate and nitrogen concentration of eight spruce taxa planted in northern Japan. *Tree Physiology*, 27: 1585–1593.
- KIRK P.L. 1950. Kjeldahl method for total nitrogen. *Analytical Chemistry*, 22: 354–358.
- MACHÁČEK V., MALÁT M. 1982. The retraction-spectrophotometric determination of Phosphorus in plant material. *Rostlinná výroba*, 28: 221–224.
- MELLERT K.H., GÖTTLEIN A. 2012. Comparison of new foliar nutrient thresholds derived from van den Burg's literature compilation with established central European references. *European Journal of Forest Research*, 131: 1461–1472.
- MUSIO M., AUGUSTIN N., KAHLE H.-P., KRALL A., KUBLIN E., UNSELD R., VON WILPERT K. 2004. Predicting magnesium concentration in needles of Silver fir and Norway spruce – a case study. *Ecological Modelling*, 179: 307–316.
- NOVOZAMSKY I., HOUBA V.J.G., VAN ECK I., VAN VARK W. 1983. A novel digestion technique for multi-element plant analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 14: 239–248.
- PODRÁZSKÝ V., VACEK Z., KUPKA I., VACEK S., TŘEŠTÍK M., CUKOR J. 2018. Effects of silver fir (*Abies alba* Mill.) on the humus forms in Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) stands. *Journal of Forest Science*, 64 (6): 245–250.
- POTOČIĆ N., ČOŠIĆ T., PILAŠ I., SELETKOVIĆ I., VRBEK B. 2007. Dinamika dušika i fosfora u iglicama obične jele (*Abies alba* Mill.) različitog stupnja osutosti krošnja. [Dynamics of nitrogen and phosphorus in needles of Silver fir (*Abies alba* Mill.) trees of different defoliation classes]. *Radovi – Šumarski Institut Jastrebarsko*, 42 (2): 109–125.
- RAMAKRISHNA T.V., ROBINSON J.W., WEST P.W. 1966. The determination of calcium and magnesium by atomic absorption spectroscopy. *Analytica Chimica Acta*, 36: 57–64.
- RATKNIĆ M., MILETIĆ Z., NIKOLIĆ B. 2013. Morpho-anatomical characteristics and content of nutritive macro elements in needles of fir and spruce and their varieties in Serbia. *Archives of Biological Sciences*, 65 (4): 1479–1490. DOI: 10.2298/ABS1304479R
- REICH P.B., RICH R.L., LU X., WANG Y.-P., OLEKSYN J. 2014. Biogeographic variation in evergreen conifer needle longevity and impacts on boreal forest carbon cycle projections. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111 (38): 13703–13708.
- ROBERTS T.M., SKEFFINGTON R.A., BLANK L.W. 1989. Causes of type I spruce decline in Europe. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 62 (3): 179–222. DOI: 10.1093/forestry/62.3.179-a

- SMETHURST P. 2004. Nutritional physiology of trees. In: Burley J. et al. (eds.): Encyclopedia of Forest Sciences. Vol. 4. Oxford, Elsevier: 1616–1622.
- SOHRT J., HERSCHBACH C., WEILER M. 2018. Foliar P- but not N resorption efficiency depends on the P-concentration and the N:P ratio in trees of temperate forests. *Trees*, 32: 1443–1455. DOI: 10.1007/s00468-018-1725-9
- SZYMURA T.H. 2009. Concentration of elements in silver fir (*Abies alba* Mill.) needles as a function of needles' age. *Trees*, 23: 211–217. DOI: 10.1007/s00468-008-0268-x
- ŠRÁMEK V., LOMSKÝ B., NOVOTNÝ R. 2009. Hodnocení obsahu a zásoby živin v lesních porostech – literární přehled. *Zprávy lesnického výzkumu*, 54 (4): 307–315.
- TŘEŠTÍK M., PODRÁZSKÝ V. 2017. Meliorační funkce jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.): případová studie. *Zprávy lesnického výzkumu*, 62 (3): 182–188.
- UNECE. 2006. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part IIIa. Sampling and Analysis of Soil. UNECE, CLR/TAP, ICP Forests: 26 s.
- Vyhláška č. 298/2018 Sb. Vyhláška o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů.
- ZPRÁVA 2019. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2018. Praha, MZE: 110 s.

FOLIAR NUTRIENTS IN CURRENT AND ONE-YEAR-OLD NEEDLES OF NATURALLY-REGENERATED NORWAY SPRUCE AND SILVER FIR SAPLINGS

SUMMARY

Norway spruce (NS) grows frequently on the same forest sites where silver fir (SF) was common in the past. Unlike dominating NS, SF shares mere 1.2% of the forested area in the Czech Republic. Both species have been studied frequently as they share the same growing conditions (GRASSI, BAGNARESI 2001; GRASSI, MUSIO et al. 2004; GIANNINI 2005; RATKNIĆ et al. 2013; FRANK et al. 2017; TŘEŠTÍK, PODRÁZSKÝ 2017). Both SF (BERT 1993) and NS (KAUPENJOHANN et al. 1989) did response negatively to drought and/or air pollution as they showed yellowing and defoliation; these symptoms reflected also deficient macronutrients in needles (ROBERTS et al. 1989; HUETTL 1989, 1993; POTOCIĆ et al. 2007). SF is listed as a soil-improving species nowadays (see Vyhláška č. 298/2018 Sb.). Its soil improving effects (soil chemistry) were found, however, hardly differing from the effects of NS (TŘEŠTÍK, PODRÁZSKÝ 2017; PODRÁZSKÝ et al. 2018).

In our study, we focused on nutrients in green needles that were expected to reflect different capabilities of nutrients intake under the same site conditions. The objective of the study was to compare contents of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium in current- and one-year-old needle samples that were taken from comparably performing saplings of SF and NS.

The study site is situated at nutrient-medium rich beech with silver fir site at 637 m above sea level, northern Moravia. Both SF and NS saplings (1–4 m ranging in height) are progeny of declining 120-year-old spruce-fir stand; almost all of mature spruces were cut and removed as salvage crop at the time of investigation. Other species saplings were rare. The samples of current-year and one-year-old needles were taken from the 2nd and 3rd whorls of randomly selected NS trees; each of these NS were paired with the nearest SF saplings of comparable growth. Totally 20 NS and 20 SF individuals were sampled, their height and the last three years increments were measured. The laboratory assays were: nitrogen by Kjeldahl method, phosphorus spectrophotometrically (MACHÁČEK, MALÁT 1982), potassium using an absorption spectrophotometer (NOVOZAMSKY et al. 1983) and calcium with magnesium were analyzed by atomic absorption (AAS) after addition of lanthanum (RAMAKRISHNA et al. 1966). Differences in nutrient contents and their ratios such as N/P, N/K, N/Ca, N/Mg, K/Ca, K/Mg were statistically analyzed using one-way ANOVA with block design and redundancy analysis (RDA). RDA included a multi-dimensional permutation test (blocks were covariants). Both one-dimensional and multi-dimensional methods helped us analyze relationship between nutrient concentrations and height (height increment) of the trees sampled. The data were transformed logarithmically to improve their normality, a homogeneity of variances and also to achieve an additivity of the model.

Nutrient concentrations were comparable in the current-year needles of SF and NS excepting significantly higher nitrogen in NS (Table 1; ANOVA $p = 0.003$). More than one quarter of SF trees showed a nitrogen-deficient current-year needles and also some individuals were low in calcium and magnesium (Fig. 1). The one-year-old needles differed in potassium and magnesium concentrations (Fig. 2; RDA $p = 0.01$). SF were significantly higher in potassium (ANOVA $p = 0.002$) and NS in magnesium (ANOVA $p < 0.001$). We found deficient magnesium contents in many SF trees compared to NS where no Mg-deficient needles were found (Fig. 3). Both SF and NS one-year-old needles were nitrogen-deficient partly; some SF trees showed also very low calcium content. Nutrient ratios were similar in SF and NS current-year needles (Fig. 4; RDA $p = 0.14$); N/K was higher significantly in NS (ANOVA $p < 0.001$). In the older needles, the nutrient ratios differed more (RDA $p < 0.002$). N/K was higher in NS again (ANOVA $p < 0.001$). SF trees showed significantly higher N/Mg (ANOVA $p = 0.003$) and K/Mg ($p < 0.001$) in the

one-year-old needles. The height of sampled trees ranging between 1–4 m is likely to be neglected in the analysis of nutrient concentration in the two needle age classes.

Nutrient concentrations are used for estimating a forest stand nutrition levels in the long term (GÖTTLEIN et al. 2011). Thresholds for NS were published in HÜTTL (1986), BERGMANN (1988), ICP Forests (UNECE 2006), MELLERT, GÖTTLEIN (2012) and for SF in BERGMANN (1988). More than half of current-year SF needles showed deficient nitrogen and all of them were deficient also in calcium and magnesium according to BERGMANN (1988). ICP Forests thresholds were lower for optimal nutrition by Ca and Mg; 1/4 and 1/5 of SF current-year samples were then found deficient respectively. BERGMANN'S (1988) thresholds ranked also all NS current-year needle samples below the optimal nutrition by Ca and Mg. On the other hand, ICP criteria ranked only 1/4 of samples as suboptimal ones. Despite this, no needle color changes being attributable to low level of both base cations were found. As for the nutrient ratios optimum thresholds (GÖTTLEIN 2017), higher N/Ca, K/Ca in both SF and NS and also higher N/Mg, K/Mg in SF were shown. N/P and N/K can be considered optimal in both tree species. Nutrition levels of the two youngest needle classes are not reflected in nutrient contents of litterfall. It is attributable to nutrient retranslocation that lower concentrations of Mg, K, P and N as plant tissues are getting older (SMETHURST 2004; SZYMURA 2009), and thus litter nutrient return is nutrient-poorer (SOHRT et al. 2018). Unlike the N, P, K and Mg, Ca levels increase as the needles are getting senescent (KAYAMA et al. 2002; SZYMURA 2009). The needles of older classes do fall successively. The longevity of needles is the species-specific trait (KAYAMA et al. 2002, 2007), and can be affected by site conditions (REICH et al. 2014). When estimating the soil improving function, it is likely that differences in NS and SF needles breakdown should be taken into account. It is therefore evident that nutrition levels of the youngest needles seem to be a rather limited proxy for estimating the soil improving function of the species. Comparable SF and NS needles are, in accordance with TŘEŠTÍK, PODRÁZSKÝ (2017) who found similar properties of forest floor under SF and NS stands. Their findings, however, showed SF lower in total Mg and higher in plant-available P and K.

Based on the analyses of SF and NS needles it can be concluded:

- Concentrations and ratios of nutrients were very similar in the youngest needle classes of NS and SF; spruce was higher in nitrogen.
- One-year-old SF needles were higher in potassium and lower in magnesium; N/K ratio was higher in NS and N/Mg, K/Mg were higher in SF.
- Foliar contents of calcium and magnesium were lower than optimal according to published thresholds; despite this no color changes attributable to deficient nutrients were observed.

The differences did not confirm expectation concerning SF needles higher in nutrients compared to spruce, which would be attributable to different capability of acquiring nutrients compared to NS growing in the same conditions. Soil-improving function of SF should be assessed also from needle breakdown rate, roots density etc.

Zasláno/Received: 03. 01. 2020

Přijato do tisku/Accepted: 23. 03. 2020