

VLIV BUKU NA VLASTNOSTI NADLOŽNÍHO HUMUSU A SVRCHNÍ PŮDY SMRKOVÉHO POROSTU NA STANOVIŠTI KYSELÉ SMRKOVÉ BUČINY

INFLUENCE OF BEECH ON FOREST-FLOOR HUMUS AND TOPSOIL BELOW SPRUCE ON THE ACIDIC SPRUCE-BEECH SITE

ONDŘEJ ŠPULÁK - DUŠAN KACÁLEK ✉

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

✉ e-mail: kacalek@vulhmop.cz

ABSTRACT

Properties of forest floor humus are attributable to both mineral soil properties and vegetation covering the soil. Some tree species proved their ability to produce litter-fall rich in nutrients. This is particularly important on mountain naturally acidic sites that experienced air-pollution load in 1980s. Our study was conducted on such a site in the Jizera Mts., Czech Republic. There were sampled both forest floor and soil under European beech canopy (transect point B00), 10 m from beech crown's margin (B10) and under spruce canopy situated 20 m from beeches (B20). Forest floor samples were taken using a metal frame 25 cm × 25 cm in order to quantify particular layers. Results showed a forest floor-improving effects of beech group on adjacent spruce stand (B10) such as increased pH, higher K, Ca, Mg and higher base saturation (V) compared to B20 with minimal influence of beech. This trend was not directly reflected in mineral topsoil (Ah) though some differences were also found there. Lower N, P and higher Mg were in B00 and B10. Therefore beech share is likely to influence P pool negatively in mountain forest soil. For more information see Summary at the end of the article.

Klíčová slova: nadložní humus; půdní chemismus; meliorace půdy; buk; smrk

Key words: forest-floor humus; soil, chemistry; soil improvement effect; beech; spruce

ÚVOD

Půda má rozhodující vliv na stabilitu a produkci lesních ekosystémů. Ve vztahu k lesnímu porostu (dřevinné složce) je půda prostředím pro mechanickou podporu lesních dřevin, zdrojem vody pro transpiraci rostlin a zdrojem minerálních živin pro rostliny.

Rostliny jsou také důležitým biotickým činitelem při tvorbě půdy. Mají schopnost ovlivňovat a využívat fyzikální a chemické procesy v půdě, a tak se podílet na jejím vývoji (OTTO 1994; SINGER, MUNNS 1996). Hlavní podíl na ovlivňování lesních půd mají stromovité dřeviny, a to zejména prostřednictvím opadu odumřelých částí. Kvalita opadu pak souvisí s vytvářením humusových forem. Jednou z důležitých vlastností opadu je obsah živin (CALVARUSO et al. 2011), který spolu s klimatem determinuje i vznik nadložního a půdního humusu (KLOTZBÜCHER et al. 2012). Dekompozice a humifikace opadu jednotlivých druhů dřevin se může lišit (např. LAGANIÈRE et al. 2010; MARCOS et al. 2010), odlišný může být průběh těchto procesů na různých stanovištích (MEIER et al. 2005) nebo v případech smíšených porostů (ALBERS et al. 2004).

V našich podmínkách má stále značný význam hodnocení vlastností nadložního humusu pod smrkem ztepilým a bukem lesním, protože smrk je naší hlavní hospodářskou dřevinou a buk je široce doporučovanou meliorační a zpevňující dřevinou na většině stanovišť (vyhláška č. 83/1996 Sb.). U nás i v zahraničí již byla publikována řada studií porovnávajících vývoj půdních vlastností nesmíšených i smíšených porostů obou těchto dřevin (např. PODRÁZSKÝ 1996; ROTHE et al. 2002; OULEHLE et al. 2007; HOJJATI et al. 2009; BERGER et al. 2009; GUCKLAND et al. 2010; KACÁLEK et al. 2011; COLIGNON et al. 2011; BERGER, BERGER 2012). BINKLEY (1995) shrnuje, že na smrk ztepilý bylo v evropských podmínkách často nahlíženo jako na dřevinu degradující stanoviště, zatímco buk byl hodnocen buď pozitivně, nebo na druhou stranu jako producent nejméně příznivé formy surového humusu; jindy byl chemismus opadu obou dřevin natolik podobný, že nemohl mít odlišný vliv na vývoj půd. Ve smíšených porostech mohou probíhat specifické procesy půdního chemismu, které nelze odhadnout pouhým sloučením poznatků z příslušných monokultur (ROTHE et al. 2002). Důležitou otázkou tak zůstává, jak mohou skupiny dřevin

přimíšené v porostech hlavní hospodářské dřeviny ovlivňovat vlastnosti humusu a půdy ve svém okolí.

Cílem příspěvku je vyhodnotit vliv skupiny buku na změnu vybraných vlastností svrchních horizontů humusu a půdy v okolním porostu smrku na stanovišti kyselá smrková bučina v Jizerských horách.

MATERIÁL A METODIKA

Odběr vzorků

Šetření melioračního účinku skupiny buku (věk cca 170 let) na půdu v sousedící smrkové kmenovině (věk cca 110 let) na SLT 6K (kyselá smrková bučina) probíhala v roce 2010 na lokalitě Bílé bukovi v Jizerských horách. Na objemovou a chemickou analýzu byly odebrány vzorky svrchních horizontů půdy v JV orientovaném transektu (ve směru převládajícího větru). Východí odběr transektu se nacházel pod korunami skupinky buků (B00); další vzorky byly odebrány ve vzdálenostech 10 m (B10) a 20 m (B20) od okraje korun skupiny buků.

Odběr byl proveden pomocí pedologických rámečků o rozměrech 25 cm × 25 cm v pěti opakováních pro každou variantu (B00, B10, B20) na transektu. Horizonty L, F+H a H byly odebrány kompletně, z horizontu Ah byl odebrán pouze vzorek na chemickou analýzu. Z analýz horizontu L byly vypuštěny šišky.

Chemická analýza

Vzorky půdy byly vysušeny a u horizontů L, F+H a H byla zjišťována hmotnost sušiny. Vzorky horizontu L byly následně analyzovány na obsah základních živin podle metodiky analýz rostlinného materiálu (ZBÍRAL 2001).

U horizontů F+H, H a Ah byl analyzován oxidovatelný uhlík (C_{ox} ; metoda Springel-Klee), dusík (metoda Kjeldahl), pH (pH/H_2O , pH/KCl), vlastnosti půdního sorpčního komplexu (S, T, V; podle KAPPEN (1929) a obsah přístupných živin podle metodiky Mehlich III (MEHLICH 1984).

Statistické zpracování

Analýza dat byla zpracována pomocí statistického prostředí R (R CORE TEAM 2015). Soubor dat byl hodnocen metodou analýzy hlavních komponent (PCA) pomocí balíku FactoMineR (LÊ et al. 2008), vstupními proměnnými byly charakteristiky půdního chemismu (u horizontu L obsahy N, P, K, Ca, Mg, u ostatních horizontů pH/H_2O , pH/KCl , S, T, V, C_{ox} , N, P, K, Ca, Mg). Výsledky analýzy byly vizualizovány pomocí funkce ggbiplot (VU ©2017). V grafickém zobrazení byly jednotlivé varianty barevně odlišeny.

Na základě metod exploratorní analýzy byl posuzován charakter datových souborů, pro výraznou odlehlost byla z následujících analýz vyloučena jedna hodnota zastoupení přístupného Mg u horizontu F+H varianty B10. Po ověření výběrových předpokladů (normalita, homoskedasticita) byly jednotlivé charakteristiky půdy v rámci horizontů jednotlivých poloh statisticky porovnávány pomocí analýzy variance s následným Tukey testem. Pokud předpoklady nebyly splněny (statisticky významná odlišnost od normálního rozdělení, heteroskedasticita; týká se N a Mg v horizontu F+H, pH/H_2O v horizontu H a P v horizontu Ah), byla data pro porovnání transformována pomocí Box-Coxovy transformace (FOX, WEISBERG 2011). V případě přetrvávající nenormality dat (pH/H_2O u horizontu H) byl použit neparametrický Kruskalův-Wallisův test s následným párovým porovnáním pomocí funkce kruskalmc balíku pgirmess (SIEGEL, CASTELLAN 1988). Hodnocena byla také celková zásoba živin zjištěná přepočty na hmotnost sušiny. Rozdíly byly považovány za průkazné, jestliže $p \leq 0,05$.

VÝSLEDKY

Sušina

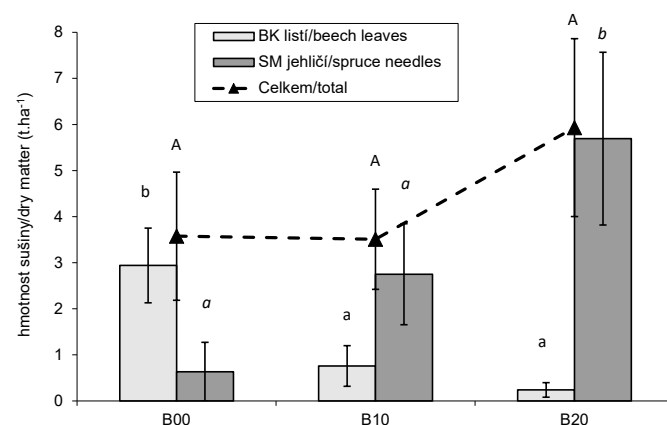
Z analýzy vyplývá očekávatelný pokles zastoupení bukového a nárůst smrkového opadu v sušině horizontu L se vzrůstající vzdáleností od bukové skupiny, průkazně se odlišilo množství v krajních polohách (obr. 1). Celková sušina horizontu L byla bez průkazných rozdílů mezi polohami. V porovnání s variantou pod korunami buků (B00) bylo v poloze B10 zjištěno průkazně více sušiny horizontu F+H. Rozdíly v sušině horizontu H byly neprůkazné, celková sušina humusových horizontů se vzdáleností od bukové skupiny klesala bez průkazných rozdílů mezi polohami (obr. 2).

Chemismus

U horizontu L první dvě osy ordinačního diagramu analýzy PCA vysvětlily 71 % variability dat (obr. 3). Rozmístění vzorků v mnoho-rozměrném prostoru naznačuje odlišnost chemismu opadu z jednotlivých poloh, bez jednotného trendu ve směru od skupiny buků. Naznačeno je také vyšší zastoupení Mg a K v poloze B10 a nižší zastoupení P v poloze B00.

Jednofaktorová analýza dat horizontu L potvrdila vztahy naznačené analýzou PCA. Byl potvrzen průkazný nárůst procentického zastoupení P s rostoucí vzdáleností od skupinky buku, pokles zastoupení Ca byl naznačen (tab. 1). V poloze B10 bylo průkazně vyšší zastoupení K oproti B20 a Mg oproti oběma porovnávaným polohám.

U horizontu F+H první dvě osy ordinačního diagramu analýzy PCA vysvětlily 55 % variability (obr. 4). Naznačen byl trend poklesu pH, případně též zastoupení K a hodnoty S, ve směru od skupiny BK do porostu SM. Data polohy B00 mají v prostoru prvních dvou os diagramu výrazně menší rozptýl v porovnání s ostatními polohami. Průkazný pokles hodnot pH/H_2O i pH/KCl a obsahu K směrem od skupiny BK



Obr. 1.

Zastoupení sušiny horizontu L podle dřeviny a celkem. Průměr a směrodatná odchylka. Odlišná písmena značí příslušnost ke statisticky heterogenním skupinám v rámci jednotlivých charakteristik (ANOVA, Tukey test). Pozn.: B00 – poloha pod korunou buků, B10 – ve vzdálenosti 10 m od okraje koruny, B20 – ve vzdálenosti 20 m od okraje koruny buků

Fig. 1.

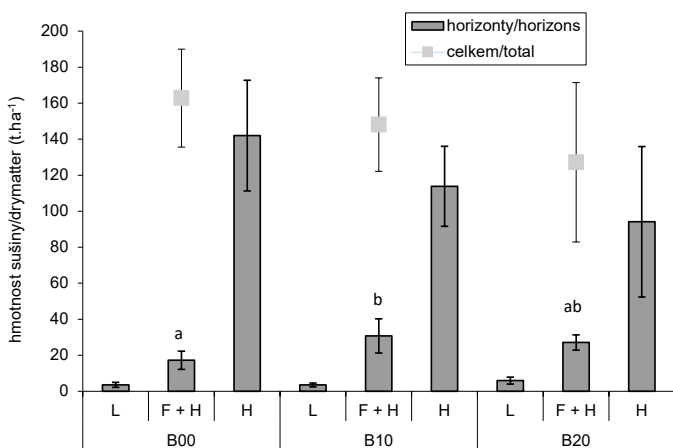
Share of dry matter of L horizons according to tree species and total amount; mean and standard deviations. No significant differences (ANOVA). B00 – location beneath beech crowns, B10 – 10 m from the beech crowns' margin, B20 – 20 m from the beech crowns' margin

Tab. 1.

Obsah (%) a zásoba (kg.ha⁻¹) celkových makroelementů v horizontu L. Odlišná písmena značí příslušnost k statisticky heterogenním skupinám poloh v rámci daného parametru (ANOVA, Tukey test). Vysvětlivky viz obr. 1

Content (%) and pool (kg.ha⁻¹) of total macroelements in the L horizon. Different letters depict statistically heterogeneous groups of the parameter between locations (ANOVA, Tukey test). B00 – location beneath beech crowns, B10 – 10 m from the beech crowns' margin, B20 – 20 m from the beech crowns' margin

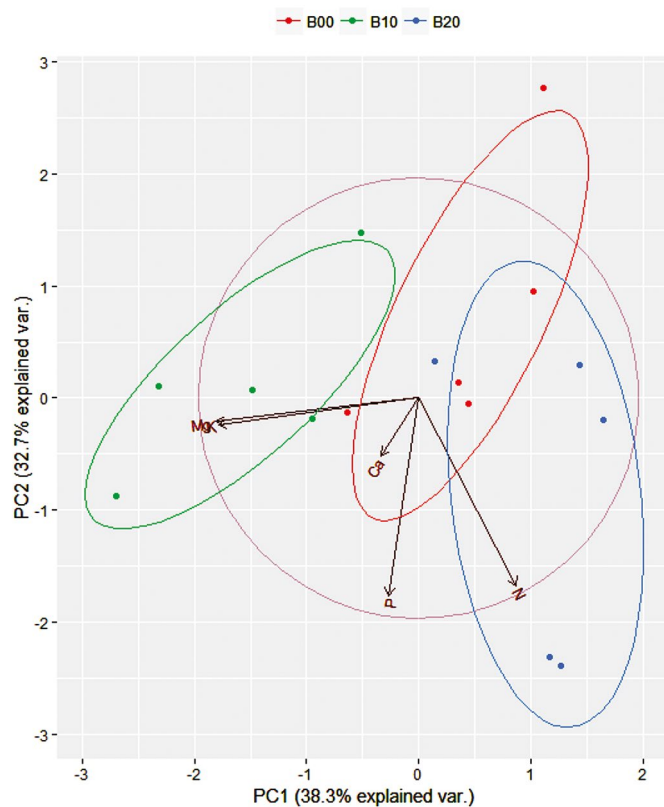
| | Poloha/Location | Zastoupení/Content (%) | | | Zásoba/Pool (kg.ha ⁻¹) | | |
|----|-----------------|------------------------|----------|---------|------------------------------------|--------|--------|
| | | B00 | B10 | B20 | B00 | B10 | B20 |
| N | průměr/mean | 1,12 | 1,09 | 1,22 | 40,5 AB | 38,3 A | 70,5 B |
| | SD | 0,08 | 0,03 | 0,09 | 17,8 | 12,0 | 18,8 |
| P | průměr/mean | 0,040 a | 0,049 ab | 0,057 b | 1,5 A | 1,7 A | 3,3 B |
| | SD | 0,006 | 0,005 | 0,006 | 0,7 | 0,6 | 0,8 |
| K | průměr/mean | 0,10 ab | 0,14 b | 0,09 a | 3,7 | 5,3 | 5,2 |
| | SD | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 1,6 | 2,5 | 1,7 |
| Ca | průměr/mean | 0,7 | 0,55 | 0,49 | 26,7 | 20,3 | 26,9 |
| | SD | 0,23 | 0,14 | 0,16 | 15,4 | 9,7 | 6,4 |
| Mg | průměr/mean | 0,055 a | 0,077 b | 0,052 a | 2,0 | 2,7 | 3,0 |
| | SD | 0,006 | 0,004 | 0,006 | 1,0 | 0,8 | 1,0 |


Obr. 2.

Sušina jednotlivých humusových horizontů (L, F+H, H) a celkem. Průměr a směrodatné odchylky. Odlišná písmena značí příslušnost ke statisticky heterogenním skupinám poloh u horizontu F+H (ANOVA, Tukey test). Pozn.: B00 – poloha pod korunou buků, B10 – ve vzdálenosti 10 m od okraje koruny, B20 – ve vzdálenosti 20 m od okraje koruny buků

Fig. 2.

Dry matter of particular forest floor horizons (L, F+H, H) and in total; mean and standard deviations. Different letters depict statistically heterogeneous groups of locations in horizon F+H (ANOVA, Tukey test). B00 – location beneath beech crowns, B10 – 10 m from the beech crowns' margin, B20 – 20 m from the beech crowns' margin


Obr. 3.

Ordinační diagram (PCA) zastoupení makroelementů v horizontu L. Procenta vyjadřují variabilitu vysvětlenou jednotlivými osami. Hnědý kruh naznačuje teoretické maximum vektorů jednotlivých proměnných, barevně jsou odlišeny elipsy pravděpodobného výskytu dat jednotlivých variant. Pozn.: B00 – poloha pod korunou buků, B10 – ve vzdálenosti 10 m od okraje koruny, B20 – ve vzdálenosti 20 m od okraje koruny buků

Fig. 3.

Principal component analysis (PCA) ordination diagram of macroelement content in L horizon. The brown circle indicates the theoretical maximum extent of the arrows, the ellipses depict probable occurrence of the data of individual variants. B00 – location beneath beech crowns, B10 – 10 m from the beech crowns' margin, B20 – 20 m from the beech crowns' margin

byl potvrzen jednofaktorovou analýzou (tab. 2). Neprůkazně klesala také střední hodnota obsahu N a Ca a hodnota S.

U dat **horizontu H** vysvětlil ordinační diagram 60,2% variability (obr. 4). Výrazně se lišil charakter dat polohy B20 od zbývajících dvou porovnávaných poloh. Vyšší obsah P a nižší pH polohy B20 naznačené v diagramu bylo potvrzeno i jednofaktorovou analýzou (tab. 2). Obsah Ca průkazně klesal s narůstající vzdáleností od skupiny BK, obsah Mg a nasycení bázemi (V) byly průkazně nejnižší v poloze B20. Obsah K byl průkazně vyšší v poloze B00 oproti poloze B10.

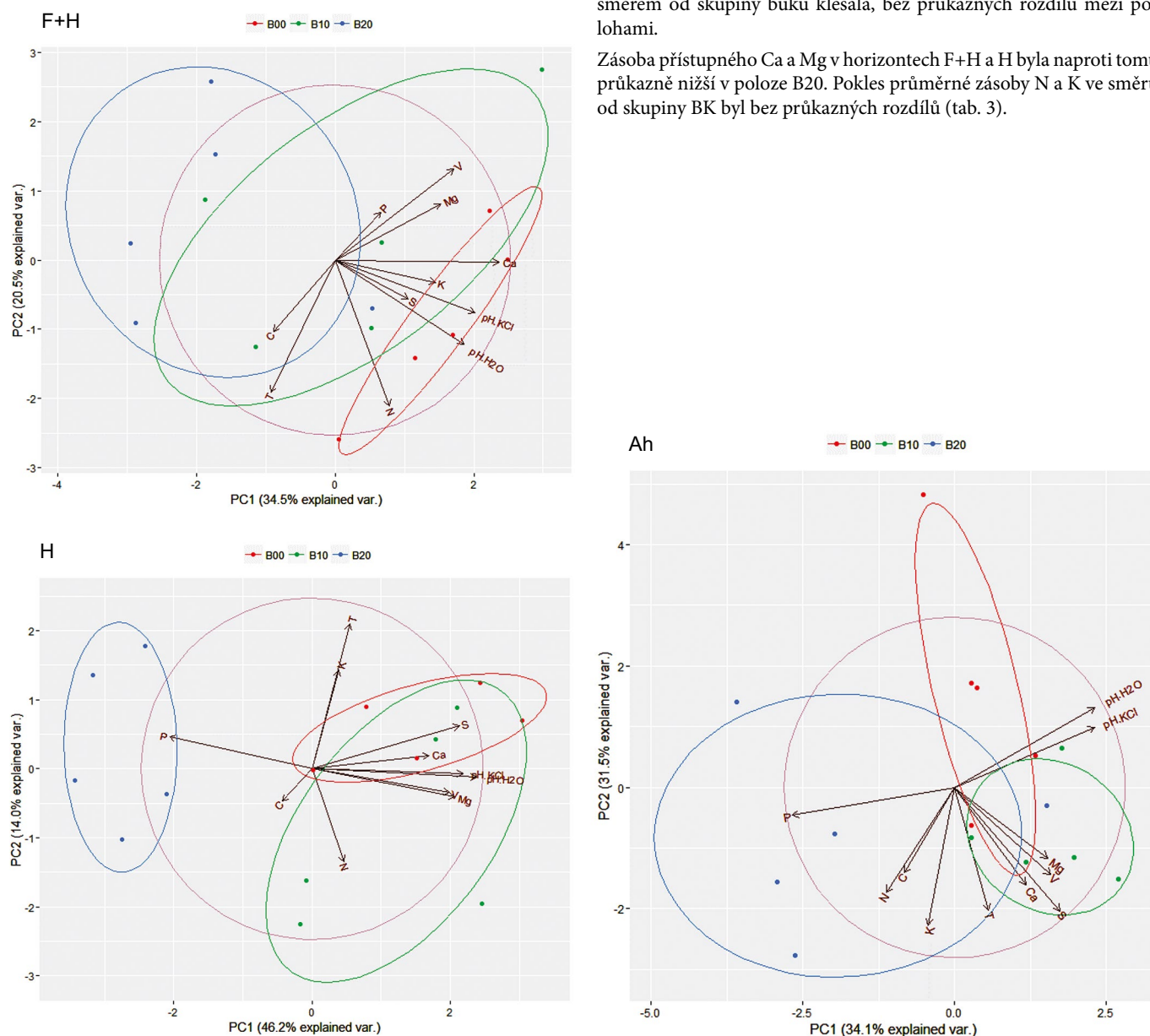
Analýza PCA **horizontu Ah** přinesla v rámci prvních dvou os vysvětlení 65% variability dat, dochází však k vyššímu překryvu bodových polí sond z analyzovaných poloh v porostu (obr. 4). Naznačené vyšší zastoupení N a P v poloze B20 bylo potvrzeno jednofaktorovou analýzou. Obsah Mg byl průkazně vyšší v poloze B10 v porovnání s B20 (tab. 2).

U horizontů F+H a H byl pozorován neprůkazný nárůst poměru C/N směrem od skupiny buku, v případě horizontu Ah byl trend opačný (tab. 2).

Celková zásoba živin

Při porovnání zásoby celkových živin v horizontu L bylo v poloze B20 naakumulováno průkazně více N a P (tab. 1). Variabilita zásob Ca směrem od skupiny buku klesala, bez průkazných rozdílů mezi polohami.

Zásoba přístupného Ca a Mg v horizontech F+H a H byla naproti tomu průkazně nižší v poloze B20. Pokles průměrné zásoby N a K ve směru od skupiny BK byl bez průkazných rozdílů (tab. 3).



Obr. 4. Ordinační diagramy (PCA) pedochemických charakteristik v horizontech F+H, H a Ah. Hnědý kruh naznačuje teoretické maximum vektorů jednotlivých proměnných, barevně jsou odlišeny elipsy pravděpodobného výskytu polohy dat jednotlivých variant. Pozn.: B00 – poloha pod korunou buků, B10 – ve vzdálenosti 10 m od okraje koruny, B20 – ve vzdálenosti 20 m od okraje koruny buků

Fig. 4. Ordination diagram (PCA) of pedochemical characteristics in F+H, H and Ah horizons. The brown circle indicates the theoretical maximum extent of the arrows, the ellipses depict probable occurrence of the data of individual variants. B00 – location beneath beech crowns, B10 – 10 m from the beech crowns' margin, B20 – 20 m from the beech crowns' margin

Tab. 2.

Půdní charakteristiky horizontů F+H, H a Ah v jednotlivých polohách porostu. Průměr a směrodatná odchylka. Odlišná písmena značí příslušnost k statisticky heterogenním skupinám polohy v rámci daného parametru (ANOVA a Tukey test, s výjimkou pH/H₂O u horizontu H, kde byl použit Kruskalův-Wallisův test). Pozn.: B00 – poloha pod korunou buků, B10 – ve vzdálenosti 10 m od okraje koruny, B20 – ve vzdálenosti 20 m od okraje koruny buků

Soil properties of the F+H, H and Ah horizons in individual locations of the stand; mean and standard deviation. Different letters depict statistically heterogeneous groups of the parameter between locations (ANOVA and Tukey test, in pH/H₂O of the H horizon Kruskal-Wallis test). B00 – location beneath beech crowns, B10 – 10 m from the beech crowns' margin, B20 – 20 m from the beech crowns' margin

| Horizont/Horizon | | F + H | | | H | | | Ah | | |
|---------------------------------|-------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|
| Poloha/Location | | B00 | B10 | B20 | B00 | B10 | B20 | B00 | B10 | B20 |
| pH/H ₂ O | průměr/mean | 4,1 b | 3,9 ab | 3,6 a | 4,3 b | 4,3 b | 3,6 a | 3,7 | 3,6 | 3,4 |
| | SD | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| pH/KCl | průměr/mean | 3,3 b | 3,1 ab | 3,0 a | 3,4 b | 3,4 b | 3,0 a | 3,3 | 3,3 | 3,1 |
| | SD | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| S (mval.100g ⁻¹) | průměr/mean | 19,5 | 18,8 | 17,6 | 13,9 | 13,8 | 8,8 | 5,7 | 8,4 | 6,4 |
| | SD | 4,5 | 2,4 | 4,5 | 4,1 | 3,4 | 1,6 | 2,4 | 0,5 | 1,7 |
| T (mval.100g ⁻¹) | průměr/mean | 53,1 | 51,6 | 57,9 | 89,7 | 78,0 | 80,4 | 34,2 | 40,5 | 39,4 |
| | SD | 14,5 | 10,1 | 9,0 | 4,8 | 10,5 | 16,5 | 4,1 | 6,0 | 5,1 |
| V (%) | průměr/mean | 37,4 | 37,3 | 31,3 | 15,6 ab | 17,7 b | 11,0 a | 16,2 | 21,2 | 16,3 |
| | SD | 6,3 | 6,9 | 10,6 | 5,0 | 3,8 | 1,3 | 5,7 | 3,9 | 4,0 |
| C (%) | průměr/mean | 19,8 | 18,4 | 19,2 | 25,0 | 24,8 | 26,0 | 14,3 | 14,0 | 18,8 |
| | SD | 4,1 | 4,1 | 2,8 | 1,7 | 4,0 | 5,1 | 4,0 | 1,4 | 5,9 |
| N (%) | průměr/mean | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 0,8 a | 1,0 ab | 1,2 b |
| | SD | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| P (mg/kg) | průměr/mean | 46,4 | 45,2 | 50,0 | 18,0 b | 16,4 a | 27,6 b | 4,4 a | 3,2 a | 10,8 b |
| | SD | 6,8 | 9,2 | 7,2 | 2,4 | 2,6 | 3,3 | 0,9 | 1,9 | 5,7 |
| K (mg/kg) | průměr/mean | 590,0 b | 460,0 ab | 383,6 a | 386,0 b | 299,2 a | 338,8 ab | 142,0 | 181,8 | 186,6 |
| | SD | 165,1 | 91,0 | 51,9 | 64,6 | 32,3 | 14,4 | 20,5 | 12,6 | 50,0 |
| Ca (mg/kg) | průměr/mean | 1775,2 | 1574,8 | 1516,4 | 1158,8 b | 935,2 ab | 804,0 a | 309,8 | 362,8 | 311,4 |
| | SD | 132,3 | 187,5 | 145,9 | 189,6 | 80,0 | 120,2 | 41,7 | 89,8 | 36,5 |
| Mg (mg/kg) | průměr/mean | 204,8 | 217,0 | 178,4 | 204,4 b | 204,8 b | 136,4 a | 70,8 ab | 84,0 b | 62,6 a |
| | SD | 33,3 | 28,7 | 12,5 | 51,0 | 35,8 | 10,5 | 11,4 | 12,6 | 7,4 |
| C/N | průměr/mean | 11,0 | 11,2 | 12,3 | 13,9 | 14,0 | 15,7 | 16,9 | 14,1 | 13,6 |
| | SD | 1,8 | 3,6 | 1,9 | 1,7 | 1,9 | 3,5 | 3,1 | 3,4 | 3,8 |

Tab. 3.

Souhrnná zásoba přístupných živin (kg.ha⁻¹) v horizontech F+H a H v transektu od skupinky buku do porostu smrku na lokalitě Bílé bukovi. Odlišná písmena značí příslušnost ke statisticky heterogenním skupinám polohy v rámci daného parametru (ANOVA, Tukey test). B00 – poloha pod korunou buků, B10 – ve vzdálenosti 10 m od okraje koruny, B20 – ve vzdálenosti 20 m od okraje koruny buků

| poloha | | B00 | B10 | B20 |
|--------|--------|----------------|-----------------|----------------|
| N | průměr | 2855,9 | 2536,4 | 1997,6 |
| | SD | 343,9 | 464,4 | 750,7 |
| P | průměr | 3,3 | 3,3 | 3,9 |
| | SD | 0,3 | 0,8 | 1,3 |
| K | průměr | 63,8 | 48,7 | 42,6 |
| | SD | 10,0 | 9,3 | 16,2 |
| Ca | průměr | 193,7 b | 155,4 ab | 113,7 a |
| | SD | 32,6 | 30,0 | 25,6 |
| Mg | průměr | 31,7 b | 28,4 b | 17,4 a |
| | SD | 4,6 | 5,2 | 5,3 |

DISKUSE

Pokud jde o množství nadložního humusu, v mnoha studiích byl zjištěn trend zvýšeného množství humusu až na dvojnásobek pod smrkem ve srovnání s bukem (např. EMMER et al. 2000; AUGUSTO et al. 2002). Hmotnost sušiny horizontu L v naší studii sledovala obdobný trend, avšak neprůkazný. Množství materiálu v nadložním humusu má těsný vztah k zásobě uhlíku. VESTERDAL, RAULUND-RASMUSSEN (1998) našli významně vyšší zásobu uhlíku v nadložním humusu 30 let starých porostů smrku ztepilého ve srovnání se stejně starými porosty buku. Obdobné výsledky zjistili i GALKA et al. (2014) v rozsáhlé studii hodnotící 373 porostů smrku, buku a smíšených ve Stolových horách v Polsku. V naší studii byl však rozdíl v obsahu uhlíku mezi variantami neprůkazný.

Hmotnost sušiny horizontů souvisí jak s množstvím opadu v dané poloze porostu, tak s rychlostí a průběhem rozkladných procesů, které se mohou s ohledem na poměr opadu sledovaných dřevin v jednotlivých polohách porostu lišit. Byla pozorována také vyšší rychlost dekompozice u stinných listů v porovnání se slunnými (SARIYILDIZ, ANDERSON 2003). Zapojená skupina buku v naší studii pravděpodobně měla vyšší podíl právě stinných listů.

PODRÁZSKÝ (2000) prokázal kladný vliv smíšených porostů s bukem oproti smrkovým porostům na tvorbu a transformaci půdní organické hmoty. Příčinu spatřuje především v intenzivním příjmu živin, tvorbě opadu s jejich podstatně vyšším obsahem a vyšší biologické aktivitě půdy pod těmito porosty.

Většinou studií byl prokázán příznivý vliv buku na reakci půdy, ta stoupala v řadě smrkové – smíšené – bukové porosty (např. VESTERDAL, RAULUND-RASMUSSEN 1998; AUGUSTO et al. 2002; MATĚJKA et al. 2010). Také acidifikace půdy a vyplavování kovů bývá pod bukem nižší (BERGKVIST 1987). Zatímco v naší studii byl tento trend změny pH průkazně potvrzen pouze v humusových horizontech, v některých pracích je popisován i v horizontech A a do jisté míry i B (např. PODRÁZSKÝ 1996). VESTERDAL, RAULUND-RASMUSSEN (1998) nenalezli v minerální půdě rozdíl mezi smrkem a bukem, nicméně HAGEN-THORN et al. (2004) zdokumentovali o 0,4 pH/H₂O vyšší hodnoty ve svrchní minerální půdě 0–10 cm a o 0,6 pH/H₂O vyšší hodnoty v hlubší 20–30 cm vrstvě pod bukem ve srovnání se smrkem, aniž by našli rozdíly v koncentracích bazických kationů. Nižší pH pod smrkem je zřejmým důsledkem vyšší depozice kationů H⁺ (protony) a vyššími výstupy organických kyselin a bazických kationů z půdy pod smrkem než pod bukem (ROTHER et al. 2002). V literatuře (MARESCHAL et al. 2010) se nicméně vyskytují také informace o reverzním působení smrku a buku, tj. o sníženém pH pod bukem.

Není pravidlem, že by bylo prokázáno kladné působení buku na půdu ve srovnání se smrkem ve všech sledovaných parametrech. Ze souhrnné studie shromažďující výsledky ze třech výzkumných sérií porovnávacích půdní vlastnosti pod dospívajícími porosty buku a smrku v Německu (HEINZE et al. 2000) vyplývají průkazně vyšší hodnoty pH v hrabance a v prvním minerálním horizontu pod bukovými porosty. Poměr C/N v nadložním humusu našli ve všech případech příznivější (nižší hodnoty) v bukovém porostu, vyšší zde byla hloubka i intenzita prokořenění a také aktivita půdní makrofauny. Nejednotné výsledky byly však zjištěny v obsahu vápníku a draslíku, kde byl v jednom případě nalezen příznivější stav pod smrkem. Naše studie poukazuje na příznivější stav těchto prvků v horizontu L v poloze, ve které je v opadu srovnatelný podíl obou dřevin (B10), v hlubších humusových horizontech je již naznačen trend poklesu obsahu ve směru od skupiny buku.

Dále bylo v uvedené studii (HEINZE et al. 2000) pod bukovými porosty zjištěno nižší množství nadložního humusu než pod smrkovými, což odpovídá i našemu zjištění. V jednom případě byla porovnávána také rychlost rozkladu jehličnatého a listnatého opadu, rychlost však byla proti očekávání vyšší pod smrkem. Také Ellenberg (1986)

in PETERS (1997) uvádí, že bukové a dubové listy jsou nejpomaleji rozkladatelné, jejich rozklad trvá 3 roky.

Jednoduchým parametrem rozlišujícím rozložitelnost organické hmoty v opadu jednotlivých dřevin je poměr C/N, rychlost dekompozice je s tímto parametrem rámcově v negativní korelaci (PODRÁZSKÝ 1999; AUGUSTO et al. 2002). I přes různý původ si mohou být bukové a smrkový nadložní humus v tomto smyslu podobné zejména v mladých porostech. VESTERDAL, RAULUND-RASMUSSEN (1998) doložili shodné hodnoty C/N ve 30 let starých bukových a smrkových porostech v Dánsku. Přes dospělý věk a dlouhodobé působení dřevin na stanoviště byly rozdíly v poměru C/N v naší studii neprůkazné a v jednotlivých horizontech se relativní pořadí středních hodnot s narůstající vzdáleností od buku měnilo.

Ve studii porovnávací rychlost a kvalitu rozkladu opadu smrku a buku v opadových pytlích (vzorky o srovnatelné suché hmotnosti) pod různými porostními poměry v severním Německu dospěli ALBERS et al. (2004) k závěru, že v bukových porostech je daleko příznivější prostředí pro dekompozici opadu, ať již bukového či smrkového. Smrkový opad se obecně rozkládá rychleji než bukový. Studie shrnují, že akumulace opadu ve smrkových porostech není dána horší schopností jehličí se rozložit, ale nepříznivými podmínkami ve vrstvách opadu, na které je smrkové jehličí více citlivé než bukové listy (ALBERS et al. 2004; BERGER, BERGER 2012). Se zvyšujícím se podílem buku např. roste podíl srážek v porostu a zvyšuje se půdní teplota (BORKEN, BEESE 2005). Také mikrobiální biomasa a respirace v organických horizontech stoupala od smrkového k bukovému porostu.

Výrazný pokles obsahu K, Ca a Mg v rhizosféře pod smrkem konstatovali např. COLLIGNON et al. (2011). Obdobný trend byl zjištěn v naší studii pouze u obsahu Mg, který byl průkazně nejnižší v horizontu Ah v poloze B20 (horizonty H a Ah) a u Ca v horizontu H. Jednotlivé půdní horizonty se formují řadu let. I z našich analýz je zřejmé, že prokázané rozdílné koncentrace přístupných živin v humusu se ne vždy odrazí v rozdílech v minerální půdě a naopak (cf. HEINZE et al. 2001).

ZÁVĚR

Analýza vlivu skupiny buku na změnu vlastností svrchních horizontů půdy v okolním porostu smrku na stanovišti kyselých smrkových bučin ukázala na průkazné trendy v hodnotách půdní acidity i v zastoupení vybraných živin. Skupina buku svým opadem vedla k melioračnímu efektu humusových horizontů půdy pod přilehlým smrkem: ke zvýšení pH, zvýšení zastoupení K, Ca a Mg a nasycení půdního sorpčního komplexu bázemi (V) v porovnání s polohou s minimálním vlivem buku. Rozdílné trendy těchto parametrů se ve většině případů přímo nepromítly do stavu prvního minerálního horizontu (Ah), přesto i v něm byly nalezeny rozdíly mezi polohami v porostu. Jedná se o nižší zastoupení N a P a vyšší zastoupení Mg pod bukem a v přilehlém porostu smrku v porovnání s částí smrkového porostu, ve které již přítomnost bukového opadu byla minimální. Ukázalo se, že z hlediska P tak buková příměs může mít negativní efekt na zásoby této živiny v půdě.

Poděkování:

Výzkum byl financován z prostředků projektu QJ1530298 „Optimalizace využití melioračních a zpevňujících dřevin v lesních porostech“ a poskytnuté institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace MZe ČR – Rozhodnutí č. RO0117 (č. j. 6779/2017-MZE-14151).

LITERATURA

- ALBERS D., MIGGE S., SCHAEFER M., SCHEU S. 2004. Decomposition of beech leaves (*Fagus sylvatica*) and spruce needles (*Picea abies*) in pure and mixed stands of beech and spruce. *Soil Biology & Biochemistry*, 36: 155–164. DOI: 0.1016/j.soilbio.2003.09.002
- AUGUSTO L., RANGER J., BINKLEY D., ROTHE A. 2002. Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science*, 59, 3: 233–253.
- BERGER T.W., BERGER P. 2012. Greater accumulation of litter in spruce (*Picea abies*) compared to beech (*Fagus sylvatica*) stands is not a consequence of the inherent recalcitrance of needles. *Plant and Soil*, 358: 349–369.
- BERGER T.W., UNTERSTEINER H., TOPLITZER M., NEUBAUER CH. 2009. Nutrient fluxes in pure and mixed stands of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*). *Plant and Soil*, 322: 317–342. DOI: 10.1007/s11104-009-9918-z
- BERGKVIST B. 1987. Leaching of metals from forest soils as influenced by tree species and management. *Forest Ecology and Management*, 22: 29–56. DOI: 10.1016/0378-1127(87)90094-6
- BINKLEY D. 1995. The influence of tree species on forest soils: processes and patterns. In: Mead D. J., Cornfort I. S. (eds.): *Proceedings of the Trees and Soil Workshop*. Lincoln University, 28 February – 2 March 1994. Canterbury, Lincoln University Press: 1–33. Special Publication Agronomy Society of New Zealand, No. 10.
- BORKEN W., BEESE F. 2005. Soil respiration in pure and mixed stands of European beech and Norway spruce following removal of organic horizons. *Canadian Journal of Forest Research*, 35 (11): 2756–2764. DOI: 10.1139/x05-192
- CALVARUSO C., N'DIRA V., TURPAULT M.P. 2011. Impact of common European tree species and Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) on the physicochemical properties of the rhizosphere. *Plant and Soil*, 342 (1–2): 469–480. DOI: 10.1007/s11104-010-0710-x
- COLLIGNON CH., CALVARUSO CH., TURPAULT M. P. 2011. Temporal dynamics of exchangeable K, Ca and Mg in acidic bulk soil and rhizosphere under Norway spruce (*Picea abies* Karst.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) stands. *Plant and Soil*, 349: 355–366. DOI: 10.1007/s11104-011-0881-0
- EMMER I. M. et al. 2000. Restoration of degraded Central-European mountain forest soils under changing environmental circumstances. In: Klimo, E. et al (eds.): *Spruce monocultures in Central Europe – problems and prospects*. Joensuu, European Forest Institute: 81–92.
- FOX J., WEISBERG S. 2011. *An R companion to applied regression*. Los Angeles, Sage: 449 s.
- GALKA B., KABALA C., LABAZ B., BOGACZ A. 2014. Influence of stands with diversified share of Norway spruce in species structure on soils of various forest habitats in the Stolowe Mountains. *Sylwan*, 158: 684–694.
- GUCKLAND A., CORRE M. D., FLESSA H. 2010. Variability of soil N cycling and N₂O emission in a mixed deciduous forest with different abundance of beech. *Plant and Soil*, 336: 25–38.
- HAGEN-THORN A., CALLESEN I., ARMOLAITIS K., NIHLGÅRD B. 2004. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, 195: 373–384. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.02.036
- HEINZE M., MELZER M., TOMCZYK S., VECKENSTEDT T. 2000. Grüne Augen – ideale Objekte für die Kontrolle von Waldumbaumaßnahmen. *AFZ/Der Wald, Allgemeine Forst Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge*, 55, 16: 834–836.
- HEINZE M., TOMCZYK S., NICKE A. 2001. Comparison of beech (*Fagus sylvatica* L.) in so-called Green Eyes with neighbouring spruce stands (*Picea abies* [L.] Karst.) in the Thuringian Vogtland country concerning soil quality, tree root density and tree growth. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 120: 139–153.
- HOJJATI S.M., HAGEN-THORN A., LAMERSDORF N.P. 2009. Canopy composition as a measure to identify patterns of nutrient input in a mixed European beech and Norway spruce forest in central Europe. *European Journal of Forest Research*, 128: 13–25.
- KACÁLEK D., ČERNOHOUS V., NOVÁK J., SLODIČÁK M., DUŠEK D. 2011. Vlastnosti nadložního humusu a půdy pod bukovým a smrkovým porostem – srovnávací studie. In: Kacálek, D. et al. (eds.): *Stabilizace funkcí lesa v antropogenně narušených a měnících se podmínkách prostředí*. 12. Mezinárodní symposium věnované diskuzi otázek pěstování lesů. Opočno 28. – 29. 6. 2011. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti – Výzkumná stanice Opočno: 209–218. *Proceedings of Central European Silviculture. 12th International Conference*.
- KAPPEN H. 1929. *Die Bodenazidität*. Berlin, Springer Verlag: 363 s.
- KLOTZBÜCHER T., KAISER K., STEPPER CH., VAN LOON E., GERSTBERGER P., KALBITZ K. 2012. Long-term litter input manipulation effects on production and properties of dissolved organic matter in the forest floor of a Norway spruce stand. *Plant and Soil*, 355: 407–416.
- LAGANIÈRE J., PARÉ D., BRADLEY R.L. 2010. How does a tree species influence litter decomposition? Separating the relative contribution of litter quality, litter mixing, and forest floor conditions. *Canadian Journal of Forest Research*, 40: 465–475.
- LÊ S., JOSSE J., HUSSON F. 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25, 1: 1–18. <http://www.jstatsoft.org/v25/i01/>
- MARCOS E., CALVO L., MARCOS J.A., TABOADA A., TARREGA R. 2010. Tree effects on the chemical topsoil features of oak, beech and pine forests. *European Journal of Forest Research*, 129: 25–30.
- MARESCHAL L., BONNAUD P., TURPAULT M.P., RANGER J. 2010. Impact of common European tree species on the physicochemical properties of fine earth: an unusual pattern. *European Journal of Soil Science*, 61: 14–23. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2009.01206.x
- MATĚJKA K., VACEK S., PODRÁZSKÝ V. 2010. Development of forest soils in the Krkonoše Mts. in the period 1980–2009. *Journal of Forest Science*, 56, 11: 485–504.
- MEHLICH A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15: 1409–1416.
- MEIER I. C., LEUSCHNER C., HERTEL D. 2005. Nutrient return with leaf litter fall in *Fagus sylvatica* forests across a soil fertility gradient. *Plant Ecology*, 177: 99–112.
- OTTO H.-J. 1994. *Waldökologie*. Stuttgart, Ulmer: 383 s.
- OULEHLE F., HOFMEISTER J., HRUSKA J. 2007. Modeling of the long-term effect of tree species (Norway spruce and European beech) on soil acidification in the Ore Mountains. *Ecological Modelling*, 204: 359–371.
- PETERS R. 1997. *Beech forests*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 169 s.
- PODRÁZSKÝ V. 1996. Vývoj půdního chemismu v bukových, smíšených a smrkových porostech Krkonoš. *Lesnictví-Forestry*, 42, 2: 92–99.
- PODRÁZSKÝ V. 1999. Význam vápnění a přirozené sukcese pro obnovu Jizerskohorských lesů. In: Slodičák, M. (ed.): *Obnova a stabilizace horských lesů*. Sborník z celostátní konference s mezinárodní účastí. Bedřichov v Jizerských horách, 12. – 13. 10. 1999. Jíloviště-Strnady, VÚLHM: 39–45.

- PODRÁZSKÝ V. 2000. Vliv druhového složení porostů na stav lesních půd. In: *Communicationes Instituti Forestalis Bohemica*, Vol. 19. Práce VÚLHM 82. Jíloviště-Strnady, Forestry and Game Management Research Institute: 115–124.
- R CORE TEAM R 2015. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Dostupné na/Available on: <http://www.R-project.org/>
- ROTHER A., KREUTZER K., KUCHENHOFF H. 2002. Influence of tree species composition on soil and soil solution properties in two mixed spruce-beech stands with contrasting history in Southern Germany. *Plant and Soil*, 240: 47–56.
- SARIYILDIZ T., ANDERSON J. M. 2003. Decomposition of sun and shade leaves from three deciduous tree species, as affected by their chemical composition. *Biology and Fertility of Soils*, 37, 3: 137–146.
- SIEGEL S., CASTELLAN N.J. 1988. Non parametric statistics for the behavioural sciences. New York, MacGraw-Hill: 213–214.
- SINGER J.S., MUNNS D.N. 1996. *Soils: an introduction*. New Jersey, Prentice Hall: 480 s.
- VESTERDAL L., RAULUND-RASMUSSEN K. 1998. Forest floor chemistry under seven tree species along a soil fertility gradient. *Canadian Journal of Forest Research*, 28: 1636–1647. DOI: 10.1139/cjfr-28-11-1636
- VU V.Q. © 2017. Ggbiplot. A tool for visualizing the results of PCA. Dostupné na/Available on: <http://www.vince.vu/software/#ggbiplot>
- Vyhláška č. 83/1996 Sb., Příloha č. 4: Rámcové vymezení cílových hospodářských souborů: 64–65.
- ZBÍRAL J. et al. 2001. Porovnání extrakčních postupů pro stanovení základních živin v půdách ČR. Brno, ÚKZÚZ: 205.

INFLUENCE OF BEECH ON FOREST-FLOOR HUMUS AND TOPSOIL BELOW SPRUCE ON THE ACIDIC SPRUCE-BEECH SITE

SUMMARY

Soil plays a crucial role in forest ecosystem's stability and production. It supports mechanical stability of trees and provides them with water and nutrients. As plants use soil, they also influence soil development (OTTO 1994; SINGER, MUNNS 1996) mostly via litter-fall. Nutrient content (CALVARUSO et al. 2011) influences properties of forest floor humus together with local climate (KLOTZBÜCHER et al. 2012). Both decomposition and humification of litter-fall depend on species (LAGANIÈRE et al. 2010; MARCOS et al. 2010), site (MEIER et al. 2005) and species mixtures (ALBERS et al. 2004). In the middle European conditions, it is still worth evaluating effects of European beech compared to Norway spruce, since the spruce is the most important commercial species and beech is, for instance, considered a soil-improving species on majority of forest sites in the Czech Republic. Many studies dealing with these two species have been published (e.g. PODRÁZSKÝ 1996; ROTHE et al. 2002; OULEHLE et al. 2007; HOJJATI et al. 2009; BERGER et al. 2009; GUCKLAND et al. 2010; COLLIGNON et al. 2011; KACÁLEK et al. 2011; BERGER, BERGER 2012). BINKLEY (1995) reported that Norway spruce was frequently considered a site-degrading species while European beech was judged both positively and negatively. Sometimes properties of their forest floors were so close to each other that they were hardly able to influence soils differently. Moreover, specific processes under mixtures cannot be assessed from results of separate monoculture stand origin (ROTHER et al. 2002). The objective of our study is to evaluate influence of beech group on properties of both forest floor and topsoil under adjacent spruce stand.

Sampling was conducted within transect. Initial point was under beech canopy (B00), next sampling points were 10 m (B10) and 20 m (B20) from beeches' crown margin – under pure spruce. Forest floor samples were taken using a metal frame 25 cm × 25 cm in order to quantify particular forest floor layers. Underlying topsoil samples were not quantified. Forest floor layers (L, F+H, H) were dried and weighed. Litter (L) was analyzed using plant matter analysis according to ZBÍRAL (2001). In fermented horizon (F+H), humus (H) and topsoil (Ah), oxidizable carbon (Springel-Klee method), nitrogen (Kjeldahl method), pH (both in water and KCl), soil sorption complex properties (S = base cations;

T = cation exchange capacity, CEC; H; V = base saturation according to KAPPEN 1929) and plant-available nutrients (MEHLICH 1984) were analyzed. Data were processed in statistical package R (R CORE TEAM 2015). Data outlier in Mg of F+H horizon (variant B10) was omitted. Dataset of each horizon was processed using PCA (package FactoMineR, LÊ et al. 2008) first. ANOVA with Tukey test was used to check significant differences in particular attribute. If non-normality and/or heteroskedasticity of data were found, Box-Cox transformation (Fox, WEISBERG 2011) preceded. Kruskal-Wallis test was used, if data transformation failed (pH/H₂O of H horizon). Analysis results were taken for significant if $p \leq 0.05$.

As expected, decreasing share of beech leaves and increasing share of spruce needles along with the distance from beech group were found within the transect, differences between B00 and B20 positions were significant. The total litter (L) dry mass showed, however, no significant difference among the transect points (Fig. 1). Dry mass of particular forest floor layers differed only between B00 and B10 in terms of fermented (F+H) horizon. Total dry mass of forest floor (L, F and H) slightly decreased along with the distance from beech though differences were not significant (Fig. 2). PCA of litter (L) showed differences among the B00, B10 and B20 points with no distinct trend from the beeches. B10 higher in Mg, K and B00 lower in P were indicated (Fig. 3). Following statistical analyses confirmed PCA results (Tab. 1). PCA of F+H showed decreasing pH, K, and S value (i.e. base cations) along with the distance from beech (Fig. 4). Following statistical analyses confirmed PCA results (Tab. 2). Humus (H) horizon (Fig. 4; Tab. 2) showed B20 significantly lower in P and pH. Ca also decreased with distance from beech; B20 showed the significantly lowest Mg and base saturation (V value). K content was significantly higher in B00 compared to B10. PCA of Ah topsoil showed more overlapping results among the transect points (Fig. 4). More N and P of Ah in B20 was also confirmed using ANOVA (Tab. 2). C/N ratio did not show any significant differences in both forest floor and topsoil. As for nutrient pools, B20 litter was significantly higher in N and P (Tab. 1). Both F and H horizons were lower in Mg and Ca (Tab. 3).

Trends of higher amounts of forest floor under spruce (even doubled) compared to beech have been published (see EMMER et al. 2000, AUGUSTO et al. 2002). The amount of forest floor can be related to amount of carbon. More carbon under spruce compared to beech was found by VESTERDAL, RAULUND-RASMUSSEN (1998) and GALKA et al. (2014). However, the C amount differences among the B00, B10 and B20 were not significant in our study. Dry mass of particular forest floor layers depends on both amount of litter-fall and decomposition rate. Slower decomposition of shaded leaves compared to those exposed to full light were also documented (SARIYILDIZ, ANDERSON 2003). Closed-canopy beech was likely to produce more shaded leaves on our study site. Positive effects of beech were found (BERGKVIST 1987; VESTERDAL, RAULUND-RASMUSSEN 1998; PODRÁZSKÝ 2000; AUGUSTO et al. 2002; MATĚJKA et al. 2010). We confirmed some pH differences among the B00, B10 and B20 transect samples only for forest floor; topsoil showed no difference (see VESTERDAL, RAULUND-RASMUSSEN 1998). However, in some studies lower pH under spruce was found also in topsoil and deeper mineral layers (PODRÁZSKÝ 1996; HAGEN-THORN et al. 2004). This is attributable to influencing H⁺ protons, organic acids and leaching of base cations under spruce (ROTHER et al. 2002). Lower base cations in spruce rhizosphere were found by COLLIGNON et al. (2011). Unlike frequently confirmed beech-spruce pattern, a reverse trend of their effect was found (MARESCHAL et al. 2010), i.e. lower pH under beech. HEINZE et al. 2000 reported non-uniform trends such as higher forest floor and topsoil pH, lower C/N, denser roots, and greater macrofauna activity under beech, while higher calcium and potassium were found in one case under spruce. Our study is in accordance with findings of HEINZE et al. (2000) in terms of lower amount of forest floor under beech compared to spruce. Decomposition rate of both beech and spruce litter-fall is related to suitability of the conditions; it seems to be more driving factor than ability of litter-fall to decompose (ALBERS et al. 2004; BERGER, BERGER 2012). The environmental conditions depend on the tree species composition. For instance, BORKEN, BEESE (2005) reported more precipitation entering the stand and higher soil temperature along with increasing share of beech. Development of soil horizons is long-term effect. Therefore, differences between beech and spruce occurring in forest floor are not reflected frequently in soil, and vice versa. Among all results from our study, future research should be focused on lack of N and P under beech comparing to spruce which was indicated within the transect of interest.

Zasláno/Received: 09. 01. 2017

Přijato do tisku/Accepted: 10. 04. 2017