

VLIV MLETÉHO VÁPENCE V JAMCE NA PROSPERITU VÝSADEB, FLUORESCENCI CHLOROFYLU A OBSAH ŽIVIN V LISTECH BŘÍZY KARPATSKÉ A BUKU LESNÍHO

EFFECT OF GROUND LIMESTONE IN PLANTING HOLE ON PLANTATION PROSPERITY, CHLOROPHYLL FLUORESCENCE AND FOLIAR NUTRIENTS OF CARPATHIAN BIRCH AND EUROPEAN BEECH

ONDŘEJ ŠPULÁK - VRATISLAV BALCAR - DUŠAN KACÁLEK

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno

ABSTRACT

To support performance and vigor of tree species plantations, artificial fertilization using finely-ground limestone was used on mountain, air-polluted sites in the past. This practice proved to be an efficient measure to restore soil properties and improve nutrition of tree species. However, there is the presumption that the effect of spot liming upon plantations is only temporary. The objectives of our study were to compare spot-limed and untreated Carpathian birch and European beech plantations in terms of difference in performance, response of photosynthetic activity using Imaging-PAM chlorophyll fluorometer, and content of nutrients. Limed Carpathian birch showed reduced growth (by 13%) compared to untreated birch. Limed beech grew slightly better for a few years after planting, then growth trends of both treatments remained equal; limed trees were higher by 8% in 2009. Analysis of chlorophyll fluorescence showed higher response of photosystem II (F_v/F_m) for limed beech treatment; we found no difference between birch treatments. The chemical analysis of leaves revealed that birch leaves from limed treatment were higher in P, Ca, Mg, and Si while beech leaves from limed treatment were higher in P only.

Klíčová slova: bříza karpatská, buk lesní, vápnění, prosperita dřevin, fluorescence chlorofylu, chemismus listů

Key words: Carpathian birch, European beech, liming, tree species performance, chlorophyll fluorescence, foliar nutrients

ÚVOD

Cílené hnojení při výsadbě lesních dřevin může napomoci zlepšení výživy a podpořit tak jejich přežívání a prosperitu, a to především v prvních letech po výsadbě. Zvláště významná bývá podpora výsadeb v klimaticky exponovaných horských polohách, kde hrozí kromě častého deficitu živin také zvýšená konkurence spojená s rozvojem přízemní vegetace a poškozováním zvěří (KAMLER et al. 2010).

Jedním z opatření doporučovaných a používaných k podpoře vitality lesních dřevin je aplikace horninových mouček (NĚMEC 1956; MATERNA 1963), jako je dolomitický vápenc. V porostech a na čerstvých holinách v relativně příznivějších stanovištních podmínkách má přidání vápence příznivý vliv na úpravu půdní reakce, humifikaci, obsah výměnných bází, výměnnou kationtovou kapacitu, stupeň nasycení sorpčního komplexu bázemi, na pokles výměnné titrační acidity a obsahu toxicky působících kationtů (PODRÁZSKÝ 1991). Celkově tak může docházet ke zlepšení podmínek pro výživu rostlin, i když je třeba brát v úvahu i s vápněním spojená rizika (PODRÁZSKÝ, ULBRICHOVÁ 2003).

Změny ve výživě způsobené správně voleným přihnojením vedou ke zlepšení fyziologického stavu výsadeb, a tím i k celkovému zvýšení prosperity. V důsledku toho dochází ke snížení mortality a/nebo zvýšení přírůstu výsadeb. Lze předpokládat, že se tyto změny projeví také přímo na aktivitě fotosyntetizujících orgánů. Vhodnou metodou pro posuzování stavu fotosyntetizujícího aparátu je měření fluorescence chlorofylu (SCHREIBER 2004). Nejdůležitějším z diagnostických veličin analýzy fluorescence chlorofylu u rostlinného materiálu adaptovaného na tmu je maximální kvantový výtěžek fluorescence F_v/F_m , který poskytuje přesný odhad účinnosti celého procesu fotosyntézy (MAXWELL, JOHNSON 2000). Pozitivní změny prosperity přihnojených výsadeb jsou často patrné několik let. Je otázkou, nakolik se pozměněný chemismus půd dlouhodobě projevuje také v chemickém složení asimilačního aparátu.

Cílem předkládaného příspěvku je vyhodnocení vlivu aplikace dolomitického vápence při výsadbě břízy karpatské (*Betula carpatica* W.et K.) a buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) ve vyšších polohách Jizerských hor na růstové parametry, fluorescenci chlorofylu a obsah živin v listech po 17 letech od výsadby.

METODIKA

Pokusné výsadby

Hodnocené porosty břízy karpatské a buku lesního se nacházejí na výzkumné ploše Jizerka na Středním jizerském hřebenu v Jizerských horách. Výzkumná plocha byla založena na rozsáhlé imisní holině (nadmořská výška 970 m, SLT 8 K, blíže viz např. BALCAR, PODRÁZSKÝ 1994; BALCAR, KACÁLEK 2008).

Experimentální kultury byly založeny v roce 1993 výsadbou břízy a buku na čtvercové parcely o rozměrech 10 x 10 m ve sponu 1 x 2 m ve dvou variantách, a to: a) varianta vápněná – přihnojení promísením 1 kg jemně mletého dolomitického vápence do jamky při výsadbě (obsah 21,5% Ca a 11,25% Mg – BALCAR, PODRÁZSKÝ 1995), b) varianta kontrolní bez přihnojení. Obě varianty byly založeny ve 2 opakovaných pro každou dřevinu s výsadbou 50 sazenic na každou parcelu.

Růst výsadby byl sledován každoročně v podzimních termínech, výška byla měřena s přesností na centimetry; zároveň byla hodnocena mortalita a případné poškození. V roce 2009 převyšovala průměrná výška dominantních jedinců břízy karpatské i dominantních buků 3,5 m. Popis chemismu půdy, odrážející přetrvávající vliv melioračního opatření, byl u variant břízy hodnocen např. v práci KUNEŠ et al. (2007) a u buku ve studii BALCAR et al. (2011).

Měření fluorescence chlorofylu

Dne 15. července 2009 byly odebrány vzorky asimilačního aparátu břízy a buku. Vzorkováno bylo 8 – 10 reprezentativních jedinců na parcelu, výhony byly odebrány z jižní strany osluněné horní části koruny. Fluorescence chlorofylu byla měřena přístrojem Imaging-PAM (IKEA0150A, Heinz Walz GmbH, obslužný software ImagingWin V2.32). Přístroj Imaging-PAM je konstruován pro sledování dvojdimenzionální variability fotosyntetické aktivity listů. Zajištění a udržení dokonalé adaptace vzorků na tmu je podle údajů výrobce pro měření nepodstatné, podle našich zkušeností je však pro získání temnotních parametrů fluorescence nutné. Lze ho nicméně docílit obtížněji než u přístrojů vybavených stínícím prvkem (leafclip). Možnosti měření systému Imaging-PAM jsou však významně flexibilní (WALZ 2004; LICHTENTHALER et al. 2005).

Vzorky byly pro snížení vysychání přes noc uchovávány v lednici v igelitových obalech. Následující den byly před měřením minimálně 1 hodinu adaptovány na pokojovou teplotu (cca 21 °C). Pro analýzu byla vybrána střední část (bez hlavní žilky) náhodně zvoleného listu z každého jedince, každý jedinec byl zastoupen třemi listy (tzn. tři opakování).

Destičky se vzorky byly dále při pokojové teplotě po minimálně 30 minut adaptovány na tmu v plastových krabičkách se zvýšenou vlhkostí vzduchu. Temnotní adaptace po dobu minimálně 20 minut u zelených listů zaručuje převedení fotosyntetického aparátu do klidového stadia, ve kterém jsou otevřena všechna reakční centra fotosystému II (LICHTENTHALER et al. 2005). V tomto stavu je možné zaznamenat parametry nezbytné pro správné kvantifikování procesů fotochemické i nefotochemické povahy, které se uplatňují během primární fáze fotosyntézy (ROHÁČEK 2005).

Měření přístrojem Imaging-PAM se odehrávalo v zatemnělé místnosti. Hned po nažhavení osvitového kruhu byl změřen parametr minimální (F_0) a maximální fluorescence (F_m) a obslužným softwarem dopočítán maximální kvantový výtěžek fotochemie fotosystému II pletiva adaptovaného na tmu F_v/F_m , kde variabilní fluorescence

$$F_v = F_m - F_0$$

Byla nastavena intenzita měřícího světla 3 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, frekvence pulzů 1 Hz. Dále byla v základním nastavení změřena absorptivita,

vypočítaná obslužným programem na základě poměru odraženého červeného (R, 650 nm) a blízkého infračerveného světla (NIR, 780 nm) podle vztahu

$$\text{Abs.} = 1 - R/\text{NIR}$$

Chemická analýza

Vzorky ze shodného odběru (tj. odběru v červenci 2009) byly předány také na analýzu pro stanovení obsahu základních živin (N, P, K, Ca, Mg), síry a křemíku. Analýza byla provedena metodami uvedenými ZBÍRALEM (1994). Vzorky byly mineralizovány, celková koncentrace dusíku byla analyzována podle metodiky Kjeldahla, fosfor byl stanoven kolorimetricky, draslík atomovým absorpčním spektrofotometrem, vápník a hořčík atomovou absorpcí po dodání lanthanu, síra a křemík Balksovou metodou.

Statistické zpracování

Byla vypočítána mortalita a průměrný růst všech jedinců jednotlivých variant obou dřevin. Jako reprezentativní hodnota vyjadřující lépe a vzájemně srovnatelně růstovou prosperitu výsadby byl vypočítán průměrný růst 20 % nejvyšších jedinců v roce 2009 (z výsadbového počtu). Byly vypočítány lineární regresní modely (data variant buku byla za účelem linearizace vztahu logaritmičsky transformována) a trendy v rámci dřevin vzájemně porovnány (ANOVA). Data o fluorescenci a chemická data byla po ověření výběrových předpokladů statisticky porovnávána jak v rámci dřevin (F-test, t-test), tak všechny varianty vzájemně (ANOVA s následným Tukey testem; výjimkou byly tyto parametry: obsah vápníku (Ca), křemíku (Si) a absorptivita (Abs.), kde byl s ohledem na nenormalitu a heteroskedasticitu aplikován F-test a t-test). Analýzy byly zpracovány v prostředí R (The R Foundation for Statistical Computing 2011) a Unistat 5.6.01, hypotézy byly testovány na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

VÝSLEDKY

Mortalita a růst

U břízy karpatské vyšší mortalitu v průběhu sledovaného období vykazovala kontrolní výsadba, u které v roce 2009 kumulovaná mortalita dosáhla 19 %, u vápněné varianty 8 % (tab. 1). Počet přežívajících stromků se stabilizoval po 12 letech od výsadby. Příčinou mortality byl (očekávaný) šok z přesazení, který se projevil schnutím stromků v prvních letech po výsadbě, částečně i poškození myšovitými hloďavci, hlavně hrabošem mokřadním (*Microtus agrestis* L., viz. BALCAR 1998).

U buku byl nástup mortality v letech následujících po výsadbě výraznější, vyšší mortalita byla pozorována u vápněné varianty. V roce 2009 dosáhla kumulativní mortalita na kontrolní variantě buku 50 %, na vápněné pak 66 %. Počet přežívajících jedinců se téměř stabilizoval po 10 letech od výsadby. Příčinou poměrně vysoké mortality u testovaných výsadby buku bylo především poškození hrabošem mokřadním, který tuto dřevinu preferoval nejvíce z testovaných druhů na výzkumném objektu. Jeho okusu a následným ztrátám se nepodařilo zabránit ani použitím obranných návnadových prostředků (Volid).

Průměrná výška obou výsadbových variant břízy byla v prvních třech letech po výsadbě (do roku 1995) téměř stejná, poději kontrolní varianta rostla rychleji. V roce 2009 se průměrná výška vápněné varianty blížila 280 cm, u kontroly však 330 cm. Výsadbová výška vápněné varianty buku byla ve srovnání s kontrolou nižší, od třetího roku (1995) se však díky zrychlení růstu zvýšila na 44 cm (kontrola v témže roce

Tab. 1.

Mortalita a průměrná výška všech živých jedinců břízy karpatské (A) a buku (B) podle variant (V – vápněno při výsadbě, K – kontrola)
Mortality and mean height of all living individuals of Carpathian birch and European beech (V – limed during planting, K – untreated)

A) BR karp

	Rok	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Mortalita [%]	V		0	1	1	1	3	3	3	3	4	4	4	4	4	8	8	8	8
	K		0	4	10	14	15	17	17	17	17	17	17	17	17	19	19	19	19
Výška [cm]	V	25	36	47	61	72	80	89	101	118	141	152	158	174	199	210	232	258	277
	K	26	37	48	67	83	95	109	128	149	179	188	197	208	236	244	269	304	329

B) BK

	Rok	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Mortalita [%]	V		0	36	43	46	48	53	55	59	62	61	64	66	66	66	66	66	66
	K		2	16	25	29	31	37	40	40	44	44	45	47	47	47	47	47	47
Výška [cm]	V	22	25	30	44	55	64	72	82	100	118	134	157	181	204	218	247	293	323
	K	25	29	31	36	44	50	55	64	77	90	105	125	144	160	170	189	220	243

Captions: Mortalita = Mortality; Výška = Height; Rok = Year

Tab. 2.

Parametry fluorescence chlorofylu a listů břízy karpatské a buku lesního (vzorky odebrány 15. července 2009 na VP Jizerka)
Chlorophyll a fluorescence parameters of Carpathian birch (BRkarp) and European beech (BK) leaves (the samples were collected in July 2009, Jizerka research plot)

dřevina	varianta	F_0				F_m				F_v/F_m				Abs.			
BRkarp	V	0.061	a	A	0.007	0.432	a	AB	0.087	0.857	a	B	0.021	0.792	b	B	0.018
	K	0.064	a	A	0.009	0.449	a	A	0.070	0.856	a	B	0.021	0.801	a	A	0.014
BK	V	0.052	a	B	0.008	0.400	a	BC	0.084	0.867	a	A	0.016	0.802	a	A	0.018
	K	0.051	a	B	0.009	0.370	a	C	0.092	0.860	b	AB	0.017	0.801	a	A	0.021

Poznámky: V = vápněno při výsadbě; K = kontrola; F_0 = minimální fluorescence; F_m = maximální fluorescence; F_v/F_m = maximální kvantový výtěžek fotochemie fotosystému II; Abs. = absorptivita. Průměr (základní písmo) a směrodatná odchylka (kurzíva). Písmena vyjadřují příslušnost ke skupinám statistické homogenity (rozdílná písmena mezi testovanými výběry poukazují na statisticky průkaznou odlišnost): malá písmena – porovnání variant v rámci dřeviny (t-test); velká – celkové porovnání (ANOVA)

Captions: BRkarp = Carpathian birch; BK = European beech; V = limed during planting; K = untreated; F_0 = minimal fluorescence; F_m = maximal fluorescence; F_v/F_m maximum quantum yield of PSII photochemistry. Mean (normal) and standard deviation (italics). Letters denote the groups of statistical homogeneity (different letters between tested samples refer to significant differences); lower letters – treatments compared within tree species (T-test); capital letters – comparison of all treatments (ANOVA)

Tab. 3.

Obsah živin (%) v listí břízy karpatské a buku lesního na VP Jizerka
Content of nutrients (%) in Carpathian birch (BRkarp) and European beech (BK) leaves

dřevina	varianta	N				P				K				Ca			
BRkarp	V	2.551	a	A	0.261	0.183	a	A	0.023	0.648	a	A	0.069	0.684	a	A	0.112
	K	2.543	a	A	0.210	0.164	b	B	0.015	0.632	a	A	0.073	0.426	b	B	0.076
BK	V	1.958	a	B	0.166	0.152	a	CD	0.017	0.538	a	B	0.096	0.539	a	AB	0.268
	K	1.928	a	B	0.207	0.134	b	D	0.025	0.548	a	B	0.083	0.584	a	A	0.202

dřevina	varianta	Mg				S				Si			
BRkarp	V	0.287	a	A	0.028	0.204	a	A	0.035	0.105	a	B	0.027
	K	0.240	b	B	0.020	0.187	a	AB	0.028	0.058	b	C	0.033
BK	V	0.220	a	C	0.030	0.180	a	AB	0.047	0.145	a	A	0.049
	K	0.217	a	C	0.027	0.159	a	B	0.031	0.153	a	A	0.057

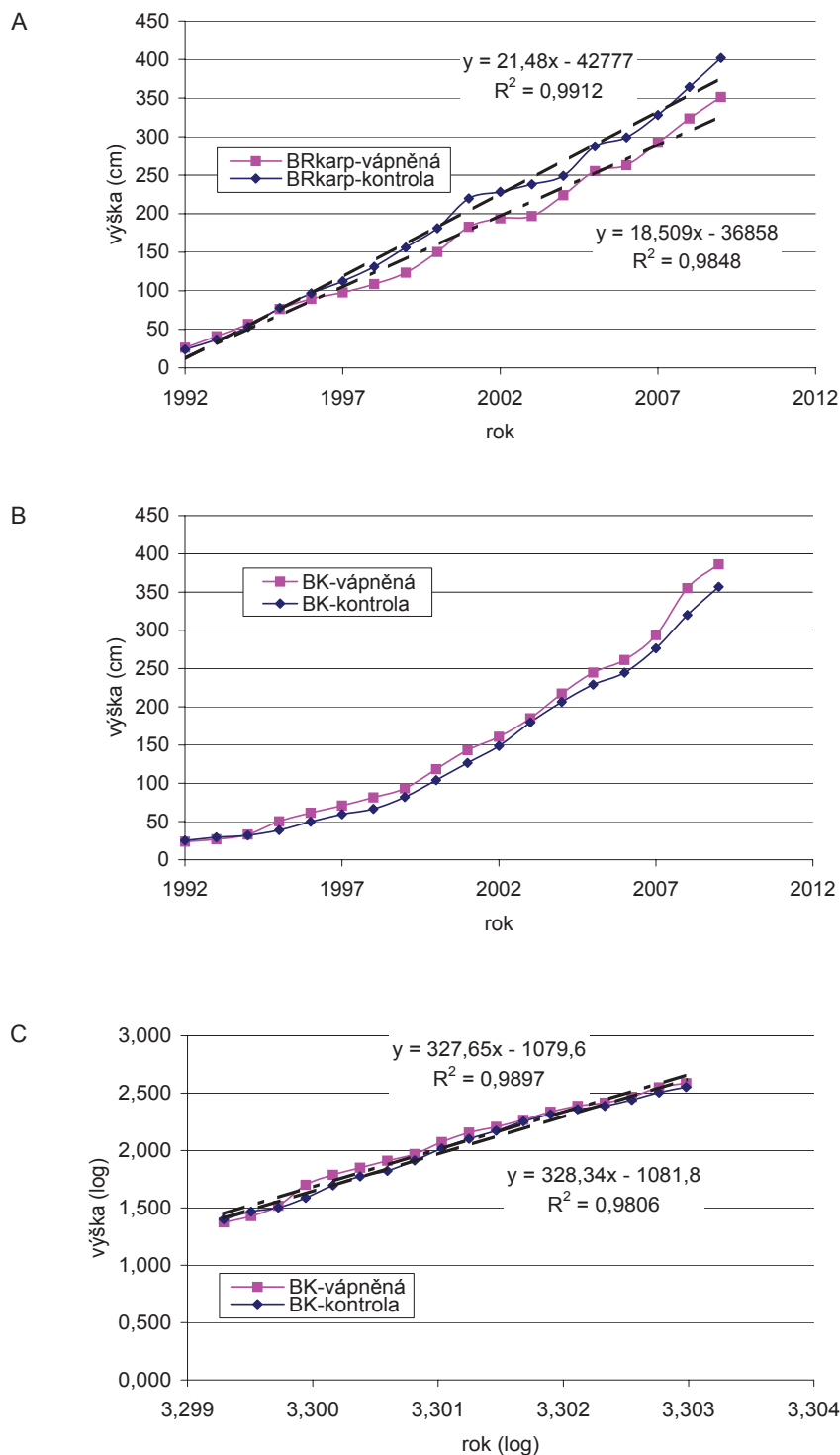
Poznámky: V = vápněno při výsadbě; K = kontrola. Průměr (základní písmo) a směrodatná odchylka (kurzíva). Písmena vyjadřují příslušnost ke skupinám statistické homogenity (rozdílná písmena mezi testovanými výběry poukazují na statisticky průkaznou odlišnost): malá písmena – porovnání variant v rámci dřeviny (t-test); velká – celkové porovnání (ANOVA)

Captions: BRkarp = Carpathian birch; BK = European beech; V = limed during planting; K = untreated. Mean (normal) and standard deviation (italics). Letters denote the groups of statistical homogeneity (different letters between tested samples refer to significant differences); lower letters – treatments compared within tree species (T-test); capital letters – comparison of all treatments (ANOVA)

36 cm) a koncem sledovaného období (2009) průměrná výška všech vápněných buků přesáhla 320 cm, zatímco u kontrolní výsadby byla o 60 cm nižší (tab. 1).

Výškový růst dominantních (20 % nejvyšších) jedinců vápněné varianty břízy karpatské byl průkazně pomalejší v porovnání s kontro-

lou (obr. 1). Rozdíl výšek po cca 15 letech od výsadby dosáhl 13 %. Naproti tomu u buku vykazovali dominantní jedinci vápněné varianty rychlejší růst (v roce 2009 rozdíl o 8 %), statisticky významný rozdíl v trendech mezi variantami však nebyl potvrzen.



Obr. 1.

Vývoj průměrných výšek 20 % nejvyšších jedinců břízy karpatské (A) a buku lesního (B; po logaritizaci porovnání regresních přímek – C) podle variant. U břízy byl průběh regresních přímek vysoce průkazně odlišný (ANOVA, $p < 0,001$).

Fig. 1.

Mean heights of 20% dominant Carpathian birch (BRkarp) and European beech (BK) individuals in limed (vápněná) and untreated (kontrola) treatments. Regression lines of birch treatments significantly differed (ANOVA, $p < 0,001$)

Fluorescence chlorofylu

Analýzou fluorescence chlorofylu přístrojem Imaging-PAM byly v rámci dřevin zjištěny průkazné rozdíly pouze u parametru maximálního kvantového výtěžku fluorescence fotosystému II (F_v/F_m) u buku a u parametru absorptivita u listů břízy. Vápněná varianta buku měla oproti kontrole vyšší hodnoty F_v/F_m , naproti tomu vápněná varianta břízy vykazovala oproti kontrole nižší hodnoty absorptivity (tab. 2).

Při vzájemném porovnání všech variant pak lze konstatovat průkazně vyšší hodnoty minimální a maximální fluorescence a nižší F_v/F_m u břízy (s překryvy u F_m a F_v/F_m u buku). Nižší absorptivitou se odlišovala pouze vápněná varianta břízy.

Zastoupení živin

Na základě chemické analýzy vzorků listů buku a břízy karpatské byly zjištěny průkazné rozdíly mezi vybranými parametry. Při porovnání variant v rámci jednotlivých dřevin byl zjištěn průkazně vyšší obsah fosforu u obou vápněných variant vůči kontrolám. U vápněné varianty břízy pak také obsah Ca, Mg a Si průkazně převyšoval kontrolní variantu, u variant buku již rozdíly v těchto prvcích zjištěny nebyly (tab. 3).

Při celkovém porovnání prvků mezi dřevinami obsahovaly listy obou variant břízy oproti variantám buku průkazně více dusíku, fosforu, draslíku a hořčíku, méně křemíku (tab. 3). Obsahy vápníku vápněné varianty břízy byly srovnatelné s kontrolní variantou buku, u hořčíku byly průkazně nejvyšší u vápněné břízy. V obsahu vápníku vykazovaly obě varianty buku oproti bříze vyšší variabilitu (viz směrodatné odchylky). Bříza měla proti buku vyšší zastoupení síry v listech, nejméně síry obsahovaly listy kontrolní varianty buku.

DISKUSE

Z výsledků analýzy vyplývá rozdílná intenzita koloběhu živin u buku a břízy karpatské mající odlišný dopad na růst. U břízy je možné i po 17 letech statisticky detekovat vliv aplikace extrémní dávky dolomitického vápence při výsadbě podle zvýšeného obsahu vápníku a hořčíku, ale také fosforu v listech. Také obsah křemíku, prvku, který není pro výživu nepostradatelný, ale u kterého se zvláště u zemědělských plodin prokázal pozitivní vliv na odolnost organismu vůči některým biotickým i abiotickým stresorům (EPSTEIN 1999; RICHMOND, SUSSMAN 2003), byl u vápněné břízy vyšší. U buku je již v tomto období efekt na chemismus omezený – průkazné rozdíly vykazoval pouze fosfor. Z hlediska výsledků listových analýz lze podle kritérií publikovaných BERGMANEM (1988) konstatovat u obou výsadbových variant břízy dostatečný stupeň výživy dusíkem (tj. obsah N v sušině listů nad 2,5 %), fosforem (obsah P nad 0,15 %), vápníkem (obsah Ca nad 0,30 %) i hořčíkem (obsah Mg nad 0,15 %). Dostatečný stupeň výživy u výše zmíněných prvků byl rovněž sledován u obou výsadbových variant buku (obsah N v sušině listů nad 1,9 %, u ostatních prvků jsou kritické mezní hodnoty stejné jako u břízy). Obsahy prvků u buku odpovídají i shodným kategoriím podle kritérií publikovaných UHLÍŘOVOU et al. (2000); kritéria pro břízu zde uvedena nejsou. Přes zjištěné rozdíly v koncentracích vybraných prvků tedy vápnění při výsadbě z hlediska výživy po 17 letech u žádné z testovaných dřevin neznamenal výraznou úpravu nebo zhoršení živinových poměrů a výživa probíhá odpovídajícím způsobem.

Průkazně zvýšený obsah fosforu v listech vápněných variant obou dřevin zřejmě souvisí s vyrovnáváním živinových poměrů při zvýšené dostupnosti Ca a Mg. Této možnosti by odpovídala zvláště situace břízy karpatské, u které byl v listech potvrzen také zvýšený obsah těchto bazických kationů. Vyšší zastoupení těchto živin u buku a smrku pozorovali v několika letech po vápnění také JONARD et al. (2010),

u smrku pak ŠRÁMEK et al. (2006), v obou studiích však rozdíl u P nebyl statisticky významný.

Půdní rozbor pod variantami břízy v roce 2002 (KUNEŠ et al. 2007) popisoval přetrvávající vyšší půdní pH vápněné varianty, spolu s řádově vyšším zastoupením oxidu vápenatého (CaO) ve svrchní vrstvě půdy (0 – 10 cm). Obdobný stav byl ve stejném roce zaznamenán i pod porosty buku (BALCAR et al. 2011). V obou případech je zvýšené zastoupení oxidů vápníku (a hořčíku) v půdě provázeno sníženým zastoupením oxidů fosforu a draslíku. Dá se předpokládat, že v průběhu let následujících po těchto půdních analýzách mohlo dojít k určitému vyrovnávání vlastností půd v rámci dřevin. Obohacení svrchní vrstvy půdy vápněných variant bude však jistě stále patrné, přesto reakce obou dřevin na vápnění je ve sledovaných charakteristikách odlišná.

Vliv vápnění na zastoupení přístupného fosforu v půdě bývá odlišný v závislosti na dalších vlastnostech půdy – byl pozorován jak jeho nárůst, tak pokles (FORMÁNEK, VRANOVÁ 2003). Fosfor v půdě se nachází ve formě těžce rozpustných fosfátových solí vápníku, železa nebo hliníku (BINKLEY 1986), které vznikají, když kationy kovů nahradí kationy vodíku v kyselině fosforečné (H_3PO_4) (PERRY et al. 2008). Z nich nejlépe rozpustná je sůl s vápníkem a nejhůře s hliníkem. Nicméně na to, jaké soli kovů budou určovat dostupnost fosforu pro rostliny, má vliv pH půdy (BINKLEY 1986), a to lze přímo ovlivnit např. vápněním, kterým je často zmírňován deficit fosforu v půdách mírného pásu (PERRY et al. 2008). Kilogram jemně mletého dolomitického vápence v jamce výrazně zvýšil pH jinak extrémně kyselého humusového podzolu, což pravděpodobně vedlo k navýšení pohyblivosti, a také k dočasnému zvýšení přístupnosti sloučenin fosforu.

Rozdíly v chování dřevin na přívápnění jsou podmíněny odlišnými vlastnostmi a stanovištními nároky dřevin. Bříza karpatská je pionýrská listnatá dřevina rostoucí obvykle na lavinových drahách a rašelinových půdách s vyšším obsahem vody – vrchovištích (ÚRADNÍČEK et al. 2009), tedy na půdách kyselých. Z tohoto hlediska je zhoršení prosperity spíše logickým důsledkem přívápnění. Buk lesní je naproti tomu druh rostoucí na široké škále půd s různými vlastnostmi. V optimálních klimatických podmínkách je celkem indiferentní ke geologickému podkladu s tím, že nejlepší bučiny rostou na humózních půdách bohatých vápníkem (ÚRADNÍČEK et al. 2009). Podpora růstu přidáním vápníku se u buku prozatím neprojevila jako statisticky významná, přesto je v průměrných hodnotách patrná. Z hlediska odrůstání kultur z klimaticky nepříznivé přízemní vrstvy vzduchu ve vyšší horské poloze může znamenat úspěšné odrůstání o maximálně 1 rok. U vápněné varianty buku však byla, na rozdíl od vápněné břízy, pozorována vyšší mortalita. U obou dřevin pak byl zjištěn významný rozdíl na jednotlivých parcelách shodné varianty, zvláště mezi mortalitou dřevin. S ohledem na mikroreliefní rozdíly terénu, spojené s variabilitou půdních podmínek (vč. půdní vlhkosti) i s lokálními koncentracemi biotických stresorů (hraboš mokřadní), tak nelze rozdíly v mortalitě jednoznačně přisuzovat vlivu melioračního zásahu.

Podle poznatků z literatury mohou parametry fluorescence chlorofylu reagovat na stav výživy dřevin. Např. STRAND a LUNDMARK (1995) sledovali parametry fluorescence chlorofylu u hnojených (kompletní živný roztok) a nehnojených jednoletých semenáčků smrku ztepilého v průběhu jara. Během sledování hnojené semenáčky vykazovaly vyšší hodnoty F_v/F_m , největší rozdíl byl patrný těsně před ukončením období zimní inhibice. U semenáčků borovice lesní hnojených draslíkem a nehnojených byly zjištěny rozdíly v parametru F_v/F_m i v průběhu růstové periody (SAVONEN, SARJALA 1998). DREYER (et al. 1994) zkoumal vliv přihnojení vápenato-hořečnatým hnojivem na zlepšení stavu desetileté kultury smrku ztepilého s výraznými symptomy deficitu hořčíku. Po 18 měsících se zlepšení výživy přihnojených jedinců projevilo jak na barevném vyrovnání asimilačního aparátu, tak na chemickém obsahu prvků a obsahu chlorofylu v listech, avšak změny

ve fotosyntetické aktivitě ani v růstu nebyly zaznamenány. CREGG et al. (2004) sledovali parametry fluorescence a obsah chlorofylů u několika druhů jedlí v závislosti na pH substrátu (pět úrovní kyselosti půdy v rozsahu 3.4 až 6.8 pH), upravovaného přihnojením dolomitickým vápencem. Zvyšující se pH substrátu v jejich studii průkazně snižovalo poměr F_v/F_m a obsahy chlorofylu v jehličí, v důsledku snížení příjmu některých kovů rostlinou.

Výsledky analýzy fluorescence chlorofylu provedené přístrojem Imaging-PAM v naší studii výše popsaným způsobem naznačují vyšší fotosyntetickou aktivitu vápněné varianty buku. U břízy lze konstatovat pouze posun absorptivity listů vápněné varianty směrem do nižších hodnot; dopad detekovaných změn v chemismu listů na měřené parametry fluorescence nebyl prokázán. Parametr absorptivity velice těsně vyjadřuje absorptivitu fotosynteticky účinného světla (WALZ 2004).

U normálně se vyvíjejících listů spadá hodnota maximálního kvantového výtěžku fotosystému PSII (F_v/F_m) do rozmezí 0,74 – 0,85 (LICHTENHALER et al. 2005) a klesá v případě přítomnosti stresových faktorů. Vyšší hodnoty zjištěné v této studii budou podmíněny technickým řešením přístroje bez možnosti plného stínění vzorku a zaručení měření skutečných hodnot F_0 a F_m v temnotní fázi, a to i přesto, že výrobce uvádí možnost měření za běžného denního světla a zanedbatelný vliv měřícího světla na stav vzorku (WALZ 2004). Z hodnot F_v/F_m je zřejmé, že ani zajištění externího stínění v průběhu pokusu nezaručilo získání skutečných temnotných parametrů fluorescence. Přístroj je tak vhodnější pro dvojdimenzionální monitoring lokálního poškození a podobné aplikace. Lze tak předpokládat, že analýza fluorometrem s integrovaným stíněním vzorku (např. PEA Hansatech, viz ŠPULÁK, MARTINCOVÁ 2011), který autoři neměli v době provádění těchto analýz k dispozici, by mohla vést k podchycení výraznějších rozdílů. Přístroj tohoto typu byl využit i ve většině studií citovaných výše (např. CREGG et al. 2004).

Zjištěné rozdíly v chemismu jednotlivých variant – zvláště u břízy karpatské – mohou mít také svůj význam při časování fenologických fází vývoje asimilačního aparátu (úprava doby rašení, nástup senescence).

ZÁVĚR

Z výsledků šetření vývoje a stavu asimilačního aparátu po 17 letech od výsadby břízy karpatské a buku lesního s aplikací jemně mletého dolomitického vápence vyplývají následující poznatky:

- Vliv přihnojení vápencem při výsadbě se na vitalitě posuzované podle výškového růstu u břízy karpatské projevil negativně, zpomalením růstu o ca 13 %.
- V případě buku lesního došlo u přívápněné výsadbové varianty k mírnému zrychlení výškového růstu v několika letech po výsadbě, dále již efekt přihnojení nebyl pozorován a trendy růstu obou variant byly vyrovnané. Výškový náskok hnojené varianty činil v roce 2009 ca 8 %.
- Vzhledem k mikrostanovištním rozdílům na lokalitě kalamitní holiny s výskytem abiotických i biotických stresů (přízemní pozdní mráz, stesy suchem v povrchové půdní vrstvě, gradace výskytu hraboše mokřadního aj.) je obtížné posuzovat vliv dolomitického vápence na mortalitu.
- Sledované základní parametry fluorescence chlorofylu měřené přístrojem Imaging-PAM zaznamenaly vyšší odezvu chování fotosystému II (parametr F_v/F_m) u vápněné varianty buku, u břízy karpatské však nebyl rozdíl potvrzen. Měření jiným přístrojem umožňujícím dokonalé stínění vzorku by mohlo přinést detailnější výsledky.
- Z výsledků listových analýz byl u přívápněné varianty břízy karpatské zřejmý vyšší obsah fosforu, vápníku, hořčíku a křemíku, u přívápněné varianty buku lesního pouze vyšší obsah fosforu.

Na základě získaných poznatků, z hlediska 17letého vývoje výsadeb testovaných kultur břízy karpatské a buku lesního, se aplikace jemně mletého dolomitického vápence v horských hřebenových podmínkách jeví jako poměrně málo účinná a i u buku vzhledem k významně zlepšenému prostředí po snížení imisní zátěže je z provozního (hlavně ekonomického) hlediska diskutabilní.

Poděkování:

Výzkumná šetření včetně vyhodnocení získaných výsledků uvedených v příspěvku byla provedena za podpory výzkumného záměru MZE0002070203 „Stabilizace funkcí lesa v antropogenně narušených a měnících se podmínkách prostředí“.

LITERATURA

- BALCAR V., PODRÁZSKÝ V. 1994. Založení výsadbového pokusu v hřebenové partii Jizerských hor. Zprávy lesnického výzkumu, 39 (2): 1-7.
- BALCAR V., PODRÁZSKÝ V. 1995. Zvýšení vitality lesních dřevin aplikací horninových mouček při obnově lesa na kalamitních holinách Jizerských hor. Zprávy lesnického výzkumu, 40 (3/4): 44-49.
- BALCAR V. 1998. Vývoj výsadeb lesních dřevin ve smrkovém vegetačním stupni v Jizerských horách. In: Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kollataja w Krakowie. Nr 332. Sesja Naukowa. Zeszyt 56. Struktura i dynamika górskich borów swierkowych. Sympozjum ... Kraków - Zakopane, 25-27 wrzesnia 1997. Krakow, Wyd. AR: 259-271.
- BALCAR V., KUNEŠ I., KACÁLEK D. 2005. Support of European beech (*Fagus sylvatica*) and sycamore maple (*Acer pseudoplatanus*) plantations by liming. In: P. Neuhöferová (ed.): Restoration of forest ecosystems of the Jizerské hory Mts. Proceedings of extended summaries. Kostelec nad Černými lesy, 26. September, 2005. Praha, Czech University of Agriculture Prague; Jíloviště-Strnady, Forestry and Game Management Research Institute - Research Station Opočno: 35-38.
- BALCAR V., KACÁLEK D. 2008. Growth and health state of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the ridge area of the Jizerské hory Mts. Journal of Forest Science, 54: 509-518.
- BALCAR V., KACÁLEK D., KUNEŠ I., DUŠEK D. 2011. Effect of soil liming on European beech (*Fagus sylvatica* L.) and sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.) plantations. Folia Forestalia Polonica, series A, Forestry, 53: 85-92.
- BERGMANN W. 1988. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Jena, G. Fischer: 762 s.
- BINKLEY D. 1986. Forest nutrition management. New York, Wiley: 290 s.
- CREGG B.M., DUCK M.W., RIOS C.M., ROWE D.B., KOELLING M. R. 2004. Chlorophyll fluorescence and needle chlorophyll concentration of fir (*Abies* sp.) seedlings in response to pH. HortScience, 39:1121-1125.
- DREYER E., ROUX X. LE, MONTPIED P., DAUDET F. A., MASSON F. A. 2001. Temperature response of leaf photosynthetic capacity in seedlings from seven temperate tree species. Tree Physiology, 21: 223-232.
- EPSTEIN E. 1999. Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 50: 641-664.
- FORMÁNEK P., VRANOVÁ V. 2003. A contribution to the effect of liming on forest soils: review of literature. Journal of Forest Science, 48: 182-190.
- JONARD M., ANDRÉ F., GIOT P., WEISSEN F., PERRE R. VAN DER, PONNETTE Q. 2010. Thirteen-year monitoring of liming and PK fertilization effects on tree vitality in Norway spruce and European beech stands. European Journal of Forest Research, 129: 1203-1211.
- KAMLER J., HOMOLKA M., BARANČEKOVÁ M., KROJEROVÁ-PROKEŠOVÁ J. 2010. Reduction of herbivore density as a tool for reduction of herbivore browsing on palatable tree species. European Journal of Forest Research, 129: 155-162.
- KUNEŠ I., BALCAR V., ZAHRADNÍK D. 2007. Influence of a planting hole application of dolomitic limestone powder and basalt grit on the growth of Carpathian birch (*Betula carpatica* W. et K.) and soil chemistry in the air-polluted Jizerské hory Mts. Journal of Forest Science, 53: 505-515.
- LICHTENTHALER H.K., BUSCHMANN C., KNAPP M. 2005. How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio RFd of leaves with the PAM fluorometer. Photosynthetica, 43: 379-393.
- MATERNA J. 1963. Výživa a hnojení lesních porostů. Praha, Státní zemědělské nakladatelství: 227 s.
- MAXWELL K., JOHNSON G. J. 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. Journal of Experimental Botany, 51: 659-668.
- NĚMEC A. 1956. Meliorace degradovaných lesních půd. Praha, Státní zemědělské nakladatelství: 291 s.
- PERRY D.A., OREN R., HART S.C. 2008. Forest ecosystems. Baltimore, Johns Hopkins University Press: 606 s.
- PODRÁZSKÝ V. 1991. Krátkodobé účinky vápnění v extrémních imisně ekologických podmínkách Orlických hor. Lesnictví, 37: 1009-1023.
- PODRÁZSKÝ V., ULBRICHOVÁ I. 2003. Surface liming of immission clear-cuts: benefits and risks. Ekológia, 22 (Suplement 1): 277-283.
- RICHMOND K. E., SUSSMAN M. 2003. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. Current Opinion in Plant Biology, 6: 268-272.
- ROHÁČEK K. 2005. Fotofyzikální děje během fotosyntetické přeměny zářivé energie na biochemicky využitelnou formu. In: Dvořáková, D., Martinková, D. (eds.): Projekt Otevřená věda, praktický kurz fyzika. [Sborník.] Praha: 133-144.
- SAVONEN E. M., SARJALA T. 1998. Effect of potassium availability on *in vivo* chlorophyll fluorescence and polyamines of Scots pine seedlings. Aquilo. Ser. Botanica, 37: 7-14.
- SCHREIBER U. 2004. Pulse-Amplitude-Modulation (PAM) fluorometry and saturation pulse method: An overview. In: Papageorgiou G.C. (ed.): Chlorophyll and fluorescence: a signature of photosynthesis. Dordrecht, Kluwer Academic: 279-319.
- STRAND M., LUNDMARK T. 1995. Recovery of photosynthesis in 1-year-old needles of unfertilized and fertilized Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) during spring. Tree Physiology, 15: 151-158.
- ŠPULÁK O., MARTINCOVÁ J. 2011. Variabilita parametrů fluorescence chlorofylu v rámci mladých stíněných a nestíněných sazenic jedle bělokoré (*Abies alba* MILL.) měřená dvěma odlišnými přístupy. Zprávy lesnického výzkumu, 3: 189-197.
- ŠPULÁK O., VÍTÁMVÁS J., KUNEŠ I., BALÁŠ M. 2010. Odezva fluorescence chlorofylu listů břízy karpatské na přihnojení. In: Bříza - strom roku 2010. Sborník z konference. Kostelec nad Černými lesy, 23. září 2010. Praha, Česká zemědělská univerzita: 99-105.
- ŠRÁMEK V., MATERNA J., NOVOTNÝ R., FADRHOŇSOVÁ V. 2006. Effect of forest liming in the Western Krušné hory Mts. Journal of Forest Science, 52 (Special Issue): 45-51.
- UHLÍŘOVÁ H. et al. (ed.) 2000. Monitoring zdravotního stavu lesa v České republice. Ročenka programu ICP Forests. Jíloviště-Strnady, VÚLHM: 60 s.
- ÚRADNÍČEK L., MADĚRA P., TICHÁ S., KOBLÍŽEK J. 2009. Dřeviny České republiky. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 367 s.
- WALZ H. 2004. Imaging - PAM Chlorophyll Fluorometer. Instrument Description and Information for Users. 2.143 / 02.2003. 4. Ed. February 2004: 134 s.
- ZBÍRAL J. 1994. Analýza rostlinného materiálu. Jednotné pracovní postupy. Brno, SKZÚZ.

EFFECT OF GROUND LIMESTONE IN PLANTING HOLE ON PLANTATION PROSPERITY, CHLOROPHYLL FLUORESCENCE AND FOLIAR NUTRIENTS OF CARPATHIAN BIRCH AND EUROPEAN BEECH

SUMMARY

Fertilization during planting can improve nutrition and increase vigor of tree species. Finely-ground dolomitic limestone was recommended and used to help plantations grow in the mountains. In these conditions, long-term detectable positive effects upon fertilized plantations of some tree species could be found. Apart from tree species performance, there are other important characteristics such as chemical properties of leaf tissues and/or response of photosynthetic systems which should be investigated. The objective of our study is to find effect of liming upon Carpathian birch and European beech that has been growing on mountain acidic site (970 m above sea level) for over 17 years. We investigated following characteristics: growth, fluorescence of chlorophyll *a*, and content of nutrients in leaves.

Experimental plantations of birch and beech planted in 1993 were fertilized by adding 1 kg of finely-ground limestone to planting holes. Growth of limed and control treatments of both tree species was measured every year. In the summer 2009, 8 – 10 individuals from both birch and beech treatments were sampled. The samples were composed of leaves which had been fully exposed to solar radiation. To prevent enormous drying out of samples, the leaves were packed in plastic bags and kept in the refrigerator over one night. Chlorophyll *a* fluorescence was measured using Imaging-PAM chlorophyll fluorometer next day. Prior to measurement, the samples were acclimatized to room temperature (21 °C) for at least one hour. Three randomly chosen leaves from each individual were analyzed. We analyzed the middle part of the leaf blade (without the midrib). Rapid fluorescence parameters of dark-adapted leaves and absorptivity were measured. The samples were also analyzed for contents of nutrients (N, P, K, Ca, Mg), sulfur and silicon.

Limed Carpathian birch showed reduced growth (by 13 %) compared to untreated birch (Tab. 1). Limed beech grew slightly better for a few years after planting, then growth trends of both treatments remained equal; limed trees were higher by 8 % in 2009 (Fig. 1). Analysis of chlorophyll fluorescence by Imaging-PAM fluorometer showed higher response of photosystem II (F_v/F_m) for limed beech treatment; we found no difference between birch treatments (Tab. 2). Utilization of fluorometer allowing a complete dark adaptation (by leafclip) could bring more detailed outcomes. The chemical analysis of leaves revealed that birch leaves from limed treatment were higher in P, Ca, Mg, and Si while beech leaves from limed treatment were higher in P only (Tab. 3). From the forestry practice point of view, the effect of liming of Carpathian birch and European beech during plantation on the mountain site seems to be rather inefficient and disputable 17 years after planting. In regard to beech this ameliorative measure worked in initial stage of forest restoration when higher air pollution load made forest regeneration complicated.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR

Ing. Ondřej Špulák, Ph.D., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno
Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Česká republika
tel.: 494 668 391; e-mail: spulak@vulhmop.cz