

ÚSTŘEDNÍ KONTROLNÍ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝ
V BRNĚ
Odbor agrochemie půdy a výživy rostlin
a
MENDELOVA ZEMĚDĚLSKÁ A LESNICKÁ UNIVERZITA V BRNĚ
Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav zakládání a pěstění lesů

**Vliv přehnojení dusíkem a hořčíkem na růst
sadebního materiálu buku lesního a smrku ztepilého**

Brno 2006

Jiří Libus

Název práce: Vliv přehnojení dusíkem a hořčíkem na růst sadebního materiálu buku lesního a smrku ztepilého

Abstrakt:

Práce shrnuje výsledky dvouletého experimentu, který se zabýval vlivem vysokých koncentrací dusíku a hořčíku na růst sazenic smrku ztepilého *Picea abies* (L.) Karst. a buku lesního *Fagus sylvatica* (L.). Pomocí výsledků chemických analýz bylo zjištěno, v kterých orgánech (resp. pletivech) se hromadí základní makrobiogenní prvky. Součástí práce je také popis vlivu vysokých koncentrací dusíku a hořčíku na biometrické charakteristiky sazenic. Práce dále obsahuje podrobné tabulky s údaji o množství většiny makrobiogenních prvků v pletivech sazenic. Ze závěrů vyplývá, že se téměř všechny sledované prvky nejvíce ukládají v asimilačních orgánech sazenic.

Klíčová slova: hnojení, orgány, dusík, hořčík, sazenice, smrk ztepilý, buk lesní

Author: Jiří Libus

Subject: High concentrations of nitrogen and magnesium and their influence on European beech *Fagus sylvatica* (L.) and Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. seedlings.

Abstract:

The work summarizes results of two-year experiment, which studied high concentrations of nitrogen and magnesium on Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. and European beech *Fagus sylvatica* (L.) seedlings. By the help of results of chemical analysis were identified tissues, in which seedlings cumulated basic macrobiogenous elements. Biometrical characteristics of seedlings under the influence of high concentrations of nitrogen and magnesium are also in term of the work. In addition to this, the work include detailed tables with data about quantity most of macrobiogenous elements in seedling tissues. From the results follows, that almost all monitored elements were accumulated in leaves and needles of seedlings.

Key words: fertilization, tissues, nitrogen, magnesium, seedling, Norway spruce, European beech,

Obsah

1. Úvod.....	3
2. Rozbor problematiky.....	4
3. Metody a použitý materiál.....	12
3.1 Materiál.....	12
3.1.1 Rostlinný materiál použitý k experimentu.....	12
3.1.2 Půda použitá k experimentu.....	13
3.1.3 Schéma založení experimentu.....	14
3.2 Metody.....	15
3.2.1 Chemické analýzy půdy.....	15
3.2.2 Chemické analýzy rostlinného materiálu.....	15
3.2.3 Zjišťování biometrických charakteristik růstu.....	16
3.2.4 Ošetřování.....	17
4. Výsledky.....	18
4.1 Obsah živin v půdě.....	18
4.2 Výsledky chemických analýz obsahu prvků v rostlinných orgánech...	21
4.2.1 Hodnocení výživy na základě analýzy jednoletých jehlic nebo listů.....	21
4.2.1.1 Hodnocení výživy smrku na základě analýzy jednoletých jehlic...	22
4.2.1.2 Hodnocení výživy buku na základě analýzy listů.....	23
4.2.2 Obsah prvků v jednotlivých orgánech (pletivech) sazenic smrku a buku.....	25
4.2.2.1 Obsah prvků v jednotlivých orgánech (pletivech) sazenic smrku.....	25
4.2.2.2 Obsah prvků v jednotlivých orgánech (pletivech) sazenic buku	30
4.3 Biometrické charakteristiky.....	35
4.4 Ztráty.....	43
5. Diskuse.....	44
6. Závěr.....	50
7. Summary.....	52
8. Seznam použité literatury.....	53

1. Úvod a cíl práce

Dostatečné zásobení vodou a živinami patří mezi základní faktory ovlivňující vitalitu dřevin. Množství dostupných živin je určováno nejen charakterem matečné horniny a intenzitou zvětrávacích procesů, ale také rychlostí mineralizace organického opadu. V posledních desetiletích se kromě toho mění zásoba disponibilních živin i vlivem antropogenní činnosti. Jedná se především o depozice látek pocházejících z průmyslové činnosti a dopravy, dále o produkci a využívání průmyslových hnojiv a hnojení močůvkou z chovu dobytka. Ty mohou zvyšovat obsahy prvků v půdě (depozice sloučenin dusíku), nebo v důsledku dlouhodobého působení vyvolávat okyselení půdy (depozice sloučenin dusíku a síry) a způsobovat vyplavování pro rostliny nezbytných bazických kationtů z půdního profilu a uvolňování některých potenciálně toxických iontů. Tato skutečnost je považována za hlavní příčinu novodobého chřadnutí lesů.

Dusík podporuje především tvorbu biomasy, tedy hlavně zelené listové hmoty. Přes pozitivní efekt vysokých depozic dusíku především na produkci dřeva jsou však patrné nepříznivé důsledky pokračujícího vstupu dusíku do lesních ekosystémů, jakými jsou kromě uvedeného okyselení půdy také vytvoření nerovnováhy živin, kvantitativní a kvalitativní změny humusu a eutrofizace vod. Stejně tak přebytek hořčíku v půdě škodlivě působí především narušováním rovnováhy Ca/Mg a následným poškozením kořenů i nadzemní části hlavně kvůli nedostatku Ca (BERGMANN a ČUMAKOV 1977). Větším problémem je však nedostatek hořčíku v lesních ekosystémech projevující se barevnými změnami asimilačního aparátu, neboli chlorózou.

Depozice dusíku i hnojení hořečnatými hnojivy zvyšují obsah přístupných živin v půdě. Při hodnocení stavu výživy dřevin a účinnosti realizovaného hnojení se většinou vychází z obsahu prvků v asimilačním aparátu, který se vztahuje k referenčním hodnotám různých stupnic optimálního a karečního obsahu prvků v jednoletých jehlicích nebo listech (BERGMANN 1983; CAPE et al. 1990). Rostliny však ukládají přijaté prvky i v jiných orgánech nebo pletivech.

Proto cílem práce je zjistit, ve kterých orgánech (resp. pletivech) smrku ztepilého a buku lesního se základní biogenní prvky dusík a hořčík hromadí a jaký mají vliv na kořenový systém i nadzemní část sazenic vysoké koncentrace dusíku a hořčíku dosažené přehnojením.

2. Rozbor problematiky

Podmínky minerální výživy jsou faktorem, kterým je možno ovlivňovat fotosyntézu, intenzitu růstových procesů a tím také efektivitu využití asimilátů, tvořících se při fotosyntéze. Fotosyntetický aparát ovlivňuje výživu rostliny a na druhé straně dostatečné zásobení rostlin živinami umožňuje zvýšení asimilace oxidu uhličitého. Dávky živin však nesmějí být příliš vysoké (PROCHÁZKA et al. 1998).

Kvalitativně odpovídá obsah prvků v rostlinách jejich výskytu v substrátu. Je evidentní, že nepřítomnost prvku v půdě a okolní atmosféře znamená i jeho nepřítomnost v rostlině. Obdobně se prvky vyskytující se v dosahu kořenů nebo listů rostlin nacházejí i v jejich strukturách. Kvantitativní zastoupení jednotlivých prvků v rostlině a půdě však může být úplně rozdílné. Z toho lze odvodit existenci mechanismů umožňujících udržení nižší koncentrace některých iontů v buňkách, než odpovídá koncentraci ve vnějším médiu. Podobně si mohou buňky hromadit ionty i proti jejich koncentračnímu spádu (PROCHÁZKA et al. 1998). Z kořenů putují živiny floémem i xylémem směrem k asimilačním orgánům. Existuje ještě další typ transportu živin v rostlině, a to difuzí. Tento typ transportu používá rostlina k přemísťování iontů na krátké vzdálenosti, tedy v kompartmentech buňky či mezi buňkami přes membránu (RUBIN 1966).

Většina živin je pro rostliny naprosto nepostradatelná. Podle PROCHÁZKY et al. (1998) existují tři základní kriteria nezbytnosti prvků. Kriteria byla odvozena již koncem 30. let minulého století Arnonem a Stoutem a jsou následující:

1. Bez daného prvku rostlina neukončí svůj životní cyklus.
2. Daný prvek nemůže být nahrazen jiným, tedy, že symptomy deficitu daného prvku nemohou být odstraněny aplikací jiného prvku.
3. Daný prvek má v metabolismu rostliny svou funkci.

Prvky, které jsou obsažené v rostlině a jsou nezbytné pro její život, se nazývají biogenní. Podle kvantitativního zastoupení v pletivech se biogenní prvky dělí na makrobiogenní a mikrobiogenní. Makrobiogenní prvky (C, O, H, N, P, K, S, Ca, Mg, Fe) mají převážně stavební funkci a jejich obsah v sušině se pohybuje v rozmezí desítek až desetin procent. Mikrobiogenní prvky (Cu, Zn, Mn, Mo, B, Cl) plní rostlině hlavně katalytickou funkci a jejich obsah v sušině bývá nižší než 0,001%. Kromě biogenních

prvků se v rostlině mohou vyskytovat i některé další prvky (Ni, Au, Cd, Pb aj.); pro rostlinu nejsou nezbytné a pokud se v rostlině nahromadí, mohou být příčinou jejich úhynu, či závadnosti těchto rostlin jako zdroje potravy (KINCL et al. 1996).

LARCHER (1988) shrnuje, že rostliny potřebují mnoho anorganických prvků, pocházejících z minerálů, anebo dostupných rostlinám v minerální formě po rozkladu anorganické hmoty. Minerální prvky rostliny přijímají jako ionty, buď je začleňují do své hmoty, nebo je ukládají v buněčné šťávě. Spálíme-li rostlinnou sušinu v laboratoři, zůstanou anorganické složky jako popel. V rostlinném popelu najdeme všechny chemické prvky vyskytující se v litosféře.

Rostlinné živiny jsou v půdě obsaženy buď v roztoku, nebo vázané. V půdním roztoku je rozpuštěn nepatrný podíl celkové půdní zásoby živin. Asi 98% živin je uloženo v opadu, humusu a těžko rozpustných organických sloučeninách, nebo zabudováno v minerálech. Ty tvoří živinovou zásobu, která se stává přístupnou rostlinám velmi pomalu, tak jak zvětrávají nerosty a mineralizují se na humus. Zbývající 2% živin jsou vázána na půdní koloidy.

Dusík patří mezi nejdůležitější živiny v životě rostlin. Nachází se v esenciálních chemických látkách rostlinného organismu, v aminokyselinách, ze kterých se tvoří bílkoviny, v nukleových kyselinách, v chlorofylu, v mnohých alkaloidech a jiných látkách. Proto má značný vliv na celý rostlinný organismus a na všechny životní projevy. Jeho účinek na vegetaci je pronikavý a rostliny reagují na nedostatek i nadbytek N velmi citlivě (BERGMANN a ČUMAKOV 1977).

RYANT et al. (2004) uvádí, že v zelených rostlinách proteinové dusíkaté látky zaujímají 80-85% z celkového N. Z toho na nukleové kyseliny připadá asi 10% a na rozpustný aminodusík 5%. Rostlina přijímá dusík ve dvou formách, a to jako amonné a nitrátové ionty. Obě formy jsou mobilní, dobře metabolicky využitelné, ale mají značně rozdílný význam, úměrný rozdílu oxidace obou iontových forem. Kromě toho rostliny mohou v omezené míře přijímat i některé organické dusíkaté látky, např. močovinu, aminokyseliny aj. U bobovitých rostlin jako zdroj dusíku slouží i vzdušný dusík.

Prvním stupněm asimilace NH_4^+ iontu v kořeni je jeho inkorporace do aminokyselin a amidů za současné kompenzace H^+ . Nadzemní části rostlin mají omezenou kapacitu pro protony, a proto všechny NH_4^+ se musí asimilovat v kořenu a dusík se transportuje xylémem ve formě aminokyselin a amidů do nadzemních částí. Pouze jen výjimečně u

některých rostlin může být malá část NH_4^+ transportována do nadzemních částí (RYANT et al. 2004). Podle PROCHÁZKY et al. (1998) je NO_3^- - N na rozdíl od NH_4^+ - N po přijetí kořeny často intenzivně transportován do nadzemních částí, hlavně listů. Je však obvyklé, že část NO_3^- je redukována už v kořenech, záleží na druhu rostliny. Redukce NO_3^- probíhá ve dvou stupních. Nejprve je enzymem nitrátreduktázou redukován na iont NO_2^- a ten je následně redukován nitritreduktázou na NH_3 . Ten je však pro buňku toxický a proto se zde vyskytuje pouze v řádově mikromolární koncentraci a je rychle zabudováván do aminokyselin.

Po asimilaci dusíku dochází k jeho přeměně na organické dusíkaté látky. Dalším stupněm je syntéza vyšších dusíkatých sloučenin o velké molekulární hmotnosti. Z těchto sloučenin jsou to zvláště proteiny a nukleové kyseliny. Nízkomolekulární dusíkaté látky a aminokyseliny slouží jako stavební jednotky proteosyntetické reakce. Jedním ze základních principů hospodaření dusíkem je u rostlin jeho reutilizace. Jejím základem na metabolické úrovni je velice rozvinutý transaminační metabolismus, který umožňuje vratný přenos aminoskupiny přes celou řadu meziproductů. Tak dusík již jednou zabudovaný do organických látek neztrácí hodnotu energie organické vazby a je snadno dále metabolizován (RYANT et al. 2004).

V lesích střední a severní Evropy byl dusík ještě před několika desítkami let většinou prvkem limitujícím výrazně růst a produkci dřevin. Přibližně od 60. let dochází průběžně ke zvyšování produkce zejména smrkových a borových porostů, které je dáváno do souvislosti s rostoucími depozicemi dusíku (KENNEL 1994). Na stanovištích s přirozeně nízkou zásobou dusíku se jeho depozice projevují výrazným zvýšením přírůstu.

HEINS DORF (1991 in PALÁTOVÁ a MAUER 1996) uvádí, že významně zvýšený příjem dusíku způsobuje nerovnováhu v obsahu ostatních živin, která vyvolává odchylky v metabolismu dřevin. Ty se projevují jak změnami v aktivitě určitých enzymů, tak i obsahu některých meziproductů nebo konečných produktů metabolismu. Vysoké obsahy dusíku v jehlicích jsou obvykle spojeny s vysokým obsahem organicky vázaného rozpustného N. To znamená, že velké množství dusíku je sice přijato do jehlic, ale není přeměněno na bílkovinný dusík. Vysoké koncentrace dusíku působí i na kořenové systémy dřevin. Dusík ovlivňuje rozdělení uhlíku v rostlině, syntézu obranných látek a zásobních cukrů, ve prospěch nadzemní části a v neprospěch kořenů. Nejvýrazněji jsou postiženy jemné kořeny, které zajišťují v převážné míře zásobování

vodou a živinami, jsou v přímém kontaktu s půdou a tedy nejcitlivěji reagují na všechny změny, ke kterým v půdě dochází. BERGMANN a ČUMAKOV (1977) shrnují, že nadbytek dusíku vyvolává bujný růst rostlin. Rostliny se vyznačují větší asimilační plochou, listy jsou temně zelené (spodní často žloutnou v důsledku nedostatku světla).

Podle BERGMANNA a ČUMAKOVA (1977) lze obecně říci, že nedostatek dusíku se projevuje slabým růstem rostlin, rostliny jsou malé. Podle stupně nedostatku N se mění barva nejstarších listů od bledě zelené do žluté. Při silném nedostatku dusíku list od spodu odumírá, někdy i odpadne. Listy nižších pater obvykle trpí nedostatkem dusíku dříve, protože se z nich tento prvek přemisťuje, aby udržel vývoj mladších listů, plodů a semen. To někdy vede ke klamnému dojmu rychlého dozrání. Výrazné změny jsou i v morfologii kořenů. Kořen se málo větví (roste do délky). Poměr hmoty kořenů k nadzemní biomase se zvyšuje. UHLÍŘOVÁ et al. (2004) uvádí, že nedostatek N se u smrku projevuje zbarvováním jehličí do žluta až žlutohněda, starší postupně opadává. Růst koruny je silně zpomalený, protože letorosty buď vůbec nevyraší, nebo jsou krátké.

Hořčík, jak uvádí BAIER a BAIEROVÁ (1985) a ZELENÝ (1993), má nezastupitelnou úlohu v procesu fotosyntézy při přeměně světelné energie na energii chemickou. Je totiž součástí chlorofylu a tedy podmínkou fotosyntézy. Podle CAPEHO et al. (1990) hořčík zasahuje do celé řady metabolických procesů v rostlině. Velmi důležitá je jeho funkce v chlorofylu, kde je jako nepostradatelný prvek vázán v porfyrinovém jádře. RYANT et al. (2004) uvádí, že z celkového obsahu v rostlině je v chlorofylu vázáno 15-20% Mg. Dokonce i v rostlinách deficitních na Mg není obsah Mg vázaného na chlorofyl větší než 30%. Při nedostatku Mg je tedy ochuzena nejdříve řada dalších biologicky významných soustav než dojde na chlorofyl. Projevům Mg chlorózy předchází hluboký metabolický rozvrat často doprovázený nekrózami pletiv (korálová mozaika nebo pruhovitost). Hořčík se zúčastňuje na dalších biochemických reakcích udržováním koloidního stavu protoplazmy a je aktivátorem nebo součástí početného množství enzymových systémů. Aktivuje fosfokinázy, dekarboxylázy a dehydrogenázy. Podobně jako Mg^{2+} působí i Mn^{2+} a pravděpodobně i Zn^{2+} a Co^{2+} . Právě vlivem této substituce se často příznaky jeho nedostatku projeví později. Hořčík svou přítomností zvyšuje asimilaci CO_2 a aktivuje enzymatické oddělení polypeptidických řetězců od ribosomů. Pozitivně ovlivňuje proteosyntézu a naopak při jeho nedostatku je v rostlinách zvýšený obsah volných aminokyselin.

Jak uvádí MENGEL a KIRKBY (1978), hořčík v půdě lze rozdělit na nevýměnný, výměnný a vodou rozpustné formy. Největší podíl má nevýměnně vázaný (v minerálech). Navíc se Mg snadno vyplavuje v množství 2 – 30 kg Mg/ha/rok. Hořčík je přijímán v menších množstvích než Ca nebo K, což podle BAIERA et al. (1996) souvisí s větším hydratačním obalem a v důsledku toho se sníženou rychlostí pohybu Mg v půdě. V příjmu Mg má významný vliv kompetice kationtů. MENGELEM a KIRKBYM (1978) byl pozorován kompetitivní vliv NH_4^{4+} na příjem Mg. Vysoký obsah K může taktéž vést k deficienci Mg.

Četné poznatky svědčí o tom, že dvojmocný kationt Mg^{2+} je přijímán pasivně a ne aktivně. To je podle BAIERA et al. (1996) zřejmě příčinou toho, že Mg je při příjmu omezován četnými faktory. Na druhou stranu je v rostlině dobře pohyblivý, v čemž se liší od Ca. Dobrá pohyblivost v rostlině způsobuje, že příznaky nedostatku se projevují nejprve ve starších listech. Na rozdíl od Ca existuje jistá možnost mobilizace Mg ze starších listů do mladých, metabolicky aktivních listů. Vysoký příjem Mg často souvisí s vysokým příjmem fosforu. O fosforu je známo, že je v kořenech rychle zabudován do fosforylových vazeb a v této formě dále dopravován. K tomu je zřejmě potřebný hořčík a proto je mu připisována úloha „nosiče“ fosforu.

Velmi vysoké koncentrace Mg v půdě a v rostlině působí především narušováním rovnováhy Ca/Mg. Podle BERGMANNA a NEUBERTA (1976) a ZELENÉHO (1993) jsou tímto poškozovány hlavně kořeny v důsledku nedostatku Ca. DVOŘÁK (1928) se zabýval výzkumem trpasličích forem rostlin tzv. nanismů na hadcích, které obsahují veliký podíl Mg, jemuž přisuzuje právě zakrslý růst. Také BERGMANN a NEUBERT (1976) vysvětlují zakrslý růst rostlin ze serpentínových půd přebytkem Mg, ale hrají zde podle nich úlohu i jiné faktory.

Častěji se však setkáváme s nedostatkem hořčíku, který se projevuje především blednutím listů. Nejdříve na starších listech vznikají mezi zelenou žilnatinou čepole žlutá místa vedle tmavě zelených. Shluky tvoří mozaiku a ta přechází do pruhovité chlorózy. Při silném nedostatku se příznaky projevují i na mladších listech (BAIER 1957; ZELENÝ 1993). UHLÍŘOVÁ et al. (2004) uvádí při nedostatku hořčíku u smrku podobné symptomy jako při nedostatku dusíku. Nedostatek Mg se u dřevin podle ní projevuje zbarvováním jehliček do žluta, přičemž starší postupně opadáva. Růst biomasy se zpomaluje.

Obecně platí, že zvýšení obsahu živin v půdě se projeví i zvýšením jejich obsahu v rostlinách. To je ostatně podstatou hnojení, kdy se formou hnojiv dodávají do půdy živiny (PROCHÁZKA et al. 1998). Živiny se v půdě mohou vyskytovat ve třech formách. Živiny pevně chemicky poutané v anorganických sloučeninách (minerály, nerozpustné soli) a biologicky v organických sloučeninách. Tyto představují potenciální zásobu živin v půdě. Druhou formou jsou kationty poutané v sorpčním komplexu, které představují pohotovou rezervu pro doplňování půdního roztoku. Bezprostředním zdrojem živin pro rostliny a zároveň třetí formou živin v půdě jsou živiny rozpuštěné v půdním roztoku. Volné ionty jsou k dispozici kořenovému systému, ale také podléhají vlivu prosakující vody a ztrácejí se do spodních vrstev. Každý substrát má větší či menší schopnost zadržovat dodané živiny. Tato sorpce má význam pro celý systém hnojení.

Živiny jsou rostlinou přijímány a distribuovány do různých orgánů. Podle obsahu prvku v některých rostlinných orgánech se dá poznat, která živina je v nadbytku, popř. které živiny se rostlině nedostává. INGESTAD (1959), LYR et al. (1967), INGESTAD (1979), CAPE et al. (1990), MEHNE-JAKOBS (1995) a další, kteří se zabývali obsahem živin v dřevinách, sledovali množství prvků v asimilačních orgánech. V případě jehlic sledovali různé ročníky, ale ostatní části rostliny nehodnotili. Celkově lze říci, že údajů o obsahu prvků a chemických analýzách jiných orgánů dřevin je velmi málo. OSONUBI et al. (1988) se zabývali obsahem některých živin v xylémové šťávě smrku. OREN et al. (1988) sledovali obsah N, P, K, Ca a Mg v listech, větvích, kmeni, kůře a kořenech dospělých smrků. Z jejich studie vyplývá, že největší koncentrace všech výše zmíněných prvků se nachází téměř vždy v listech. Druhý největší obsah většiny prvků zjistili v kmeni. Nejnižší koncentrace všech prvků zjistili v silných kořenech.

FIEDLER et al. (1973) uvádí, že vysoké dávky živin v hnojených porostech mohou vést k přehnojení (především při strojovém rozmetání hnojiv hrozí riziko předávkování živinou). INGESTAD (1979) se ve svých experimentech zabýval vlivem vysokých dávek prvků na sazenice smrku. Nedodával však sazenicím pouze jeden prvek, ale N, P, K, Ca a Mg v poměru 100:50:13:6:6. Sledoval potom množství prvku v jehlicích. Maximální obsah dusíku v jehlicích smrku byl podle něj 3,40% a jeho koncentrace v asimilačním aparátu hnojených sazenic nikdy neklesla pod 2,00%. VAVŘÍČEK

(2001) však u smrku považuje za optimální obsah 1,3% až 1,7% dusíku v asimilačním aparátu.

INGESTAD (1959) se zabýval optimálním obsahem N v jehlicích smrku a sledoval při experimentech sazenice s koncentracemi od 1,2% do 2,7%N. Na základě laboratorních pokusů zjistil INGESTAD (1979) maximální růst smrku při obsahu N v jehlicích 2%. Podle NILSSONA a WIKLUNDA (1992) mohou i stromy nasycené dusíkem zvyšovat příjem tohoto prvku, aniž by zvyšovaly růst. Toto stádium bylo pozorováno v laboratorních podmínkách a bývá označováno jako luxusní spotřeba.

MENGEL a KIRKBY (1978) dále uvádí, že vysoké koncentrace Mg byly nalezeny obvykle ve starších než v mladších listech. Hořčík ovlivňuje metabolismus N. Deficience Mg mění poměr mezi bílkovinným a nebílkovinným N a nedostatek hořčíku inhibuje syntézu bílkovin. Jeho obsah v pletivech je cca 0,5%.

FIEDLER et al. (1973) sledovali, zda příliš vysoké dávky prvků vedou ke změnám ve stavu výživy s viditelnými poškozeními, která vedou k odumírání. Hnojili pouze třemi nejdůležitějšími prvky – N, P, K, ale sledovali i obsah Mg. Zjistili, že se obsahy Mg v jehlicích významně nezměnily – na chudém křemitém porfyru měly přehnojené rostliny 0,09% Mg, na nehnojeném 0,10%, na žulových půdách přehnojených NPK 0,16% a nehnojených 0,17%.

LYR et al. (1967) uvádí, že v bukových listech je více než dvojnásobný obsah hořčíku ve srovnání s ostatními listnáči a obsah Mg v listech s rostoucím stářím dřeviny nepravidelně kolísá. V průběhu roku se však ve starších listech obsah tohoto prvku snižuje. HÖHNE (1963 in LYR et al. 1967) zjistil, že starší jehlice deseti až dvacetiletých smrků obsahují méně hořčíku než jehlice mladší.

VAVŘÍČEK (2001) považuje za nedostatečný obsah Mg v asimilačním aparátu smrku 0,06% a optimální 0,08 až 0,30%. NÁROVEC (2001) uvádí u smrku také 0,06% jako nedostatečné množství Mg v asimilačním aparátu. Dostatečné množství je podle něj 0,07 – 0,10% a optimální obsah stanovil na 0,10%. U buku uvádí vyšší hodnoty – nedostatečný obsah 0,12%, dostatečný 0,15% - 0,30% a optimální 0,30%.

HÜTTL a SCHAAF (1997) popisují množství experimentů sledujících vliv Mg na růst stromu. Uvádí, že s výjimkou LAMBA (1997), který zjistil negativní korelaci mezi obsahem Mg v listech a růstem (výškovým a výčetní základny) u *Eucalyptus deglupta*, všechny ostatní práce zjistily neutrální vliv Mg na růst dřevin.

Rozdílné výsledky mohou být podle nich způsobeny různým stářím nebo mohou být metodologické povahy.

SAUTER (1991 in HÜTTL a SCHAAF 1997) sledoval vliv síranového, karbonátového a silikátového hořečnatého hnojiva na stav výživy a růst deseti až dvanáctiletých smrků ztepilých. V tomto nádobovém pokusu pozoroval průkazné zvětšení biomasy kořenů po hnojení karbonátovou formou. Tento výsledek však protirečí výsledkům SCHNEIDERA a ZECHA (1991 in HÜTTL a SCHAAF 1997), kteří popisují stimulační vliv MgSO_4 na kořeny smrku. HÜTTL a SCHAAF (1997) uvádí, že tento protiklad mohl být způsoben obsahem Mg v jehlicích, který byl deficientní u rostlin sledovaných SCHNEIDEREM a ZECHEM (1991 in HÜTTL a SCHAAF 1997), ale normální v případě sledování SAUTERA (1991 in HÜTTL a SCHAAF 1997).

Z uvedených údajů a prací vyplývá, že distribuce prvků v dřevinách zatím nebyla ve větším měřítku zjišťována. Tato práce by měla přispět k poznání reakcí rostlin na přehnojení N a Mg.

3. Metody a použitý materiál

S cílem zjistit, ve kterých orgánech (resp. pletivech) smrku ztepilého a buku lesního se hromadí základní biogenní prvky dusík a hořčík a jaký vliv na kořenový systém i nadzemní část sazenic mají vysoké koncentrace dusíku a hořčíku dosažené přehnojením, byly založeny nádobové experimenty v kontrolovaných podmínkách.

3.1 Materiál

3.1.1 Rostlinný materiál použitý k experimentu

K experimentu byly použity semenáčky buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) 1+0 (obr. 1 viz Přílohy) a smrku ztepilého (*Picea abies* L. Karst.) 2+0 (obr. 2 viz Přílohy). Vyzvednuty byly 6.4.2004 ze školek Svinošice tak, aby všechny sazenice jednotlivých dřevin měly podobný vzrůst, tj. vyrovnanou výšku i tloušťku kořenového krčku i podobný habitus.

Při odebírání sadebního materiálu bylo navíc vyzvednuto 15 bukových a smrkových semenáčků, u nichž byl xylometricky změřen objem kořenového systému a nadzemní části. Průměrné biometrické parametry použitých semenáčků včetně objemů nadzemní části a kořenového systému semenáčků, které byly odebrány na začátku experimentu k chemickým a biometrickým analýzám, jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1

Biometrická charakteristika semenáčků smrku a buku použitých pro založení experimentu (jaro 2004)

<u>Smrk</u>				<u>Buk</u>			
Výška nadzemní části (cm)	Průměr kořen. krčku (mm)	Objem nadzem. části (ml)	Objem koř. systému (ml)	Výška nadzem. části (cm)	Průměr kořen. krčku (mm)	Objem nadzemní. části (ml)	Objem kořen. systému (ml)
17,00±1,57	2,27±0,42	2,80±0,58	0,80±0,29	50,39±6,41	8,19±1,05	9,30±3,34	15,10±3,91

3.1.2 Půda použitá k experimentu

K založení nádobového experimentu byla použita půda z lesního porostu odebraná u obce Košíkov v blízkosti Náměště nad Oslavou. Základní parametry použité půdy jsou uvedeny v tabulkách 2 a 3.

Tab. 2

Obsah základních živin v půdě (jaro 2004)

	pH/ KCl	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Ca (mg/kg)
Půda Košíkov	4,7	11	68	53	447

Ze srovnání výsledků analýzy (tab. 2) s hodnotami obsahu přístupných živin v lesních půdách v edatopu přirozených stanovišť (Vavříček 2001) vyplynulo, že půda:

- byla středně kyselá (4,0 – 5,0 pH_{KCl})
- měla nízký obsah P (6 – 12 mg P/kg)
- měla střední obsah K (50 – 90 mg K/kg)
- měla střední obsah Mg (21 – 65 mg Mg/kg)
- měla střední obsah Ca (300 – 500 mg Ca/kg)

Z hlediska fyzikálních vlastností se jednalo o půdu písčito hlinitou až hlinitý písek s nízkým obsahem humusu a nižší sorpční kapacitou (tab. 3).

Tab. 3**Fyzikální vlastnosti půdy (jaro 2004)**

podíl zrnitostní frakce (%)						druh půdy	%		mS/m	meval/1000g			%
<0,01	<0,001	0,001-0,01	0,01-0,05	0,05-0,25	0,25-2,0		C _{ox}	humus	vodivost	H ⁺	T	S	V
21,8	5,8	16,0	23,6	31,4	23,2		0,56	0,97	7,8	21,4	89,0	67,6	76,0

S - momentální obsah výměnných bází

T - maximální sorpční kapacita půdy

V - stupeň nasycení půdních koloidů bázemi

3.1.3 Schéma založení experimentu

Experiment byl založen a probíhal na pracovišti ÚKZÚZ v Brně – Pisárkách. Semenáčky obou sledovaných druhů byly vysázeny do desetilitrových nádob naplněných 9 kg zeminy. Na dno nádob byly umístěny 2 kg drenážního materiálu. Nádoby i se semenáčky byly umístěny na stoly s dřevěnými rošty. Pod každou nádobu byla instalována miska, v případě přelití zachytila odtékající vodu z nádoby. Voda byla následně vrácena zpět do nádoby, aby nedošlo k vyplavení sledovaných živin. V každé variantě bylo na počátku experimentu 25 rostlin.

Varianty v roce 2004 byly celkem tři u každého druhu dřeviny.

Varianty 2004: **Kontrola – bez hnojení, standardní závlivka**

Dusík – $100 \text{ kg prvku} \times \text{ha}^{-1} \times \text{rok}^{-1}$, standardní závlivka

Hořčík – $100 \text{ kg prvku} \times \text{ha}^{-1} \times \text{rok}^{-1}$, standardní závlivka

Hořčík byl sazenicím dodáván v síranové formě hořkou solí (heptahydrát síranu hořečnatého). Dusík byl dodáván ve formě síranu amonného. Celková roční dávka hnojiv byla rozpočítána na 6 dílů, které byly do půdy dodávány v datech 24.5., 7.6., 25.6., 12.7., 28.7. a 13.8.2004. V roce 2005 byla dávka taktéž rozpočítána na 6 dílů, aplikovaných 17.5., 30.5., 15.6., 5.7., 26.7. a 11.8.2005. Experiment byl zahájen na jaře v roce 2004 a ukončen na podzim roku 2005. Po ukončení byl celý experiment vyhodnocen.

Vzhledem k tomu, že chemickými analýzami na konci roku 2004 byl zjištěn velmi malý obsah fosforu ve všech sazenicích, rozdělil jsem každou variantu na dvě části. První část byla jednorázově dohnojena hnojivem Superfosfát tak, že ke každé sazenici bylo přidáno 12 mg čistého fosforu na 1 kg zeminy. Tím se v roce 2005 počet variant zdvojnásobil a u každé dřeviny měl experiment 6 variant.

V roce 2005 bylo u každého druhu dřeviny 6 variant.

Varianty 2005:

Kontrola: Kontrola bez hnojení, standardní zálivka

Kontrola + P: Kontrola hnojená pouze fosforem, standardní zálivka

Dusík: Sazenice hnojené dusíkem $100 \text{ kg prvku} \times \text{ha}^{-1} \times \text{rok}^{-1}$, bez dohnojení fosforem, standardní zálivka

Dusík + P: Sazenice hnojené dusíkem $100 \text{ kg prvku} \times \text{ha}^{-1} \times \text{rok}^{-1}$ a jednorázově fosforem 12 mg/kg, standardní zálivka

Hořčík: Sazenice hnojené hořčíkem $100 \text{ kg prvku} \times \text{ha}^{-1} \times \text{rok}^{-1}$, bez dohnojení fosforem, standardní zálivka

Hořčík + P: Sazenice hnojené hořčíkem $100 \text{ kg prvku} \times \text{ha}^{-1} \times \text{rok}^{-1}$ a jednorázově fosforem 12 mg/kg, standardní zálivka

3.2 Metody

3.2.1 Chemické analýzy půdy

Analýzy obsahu prvků byly realizovány standardními postupy používanými akreditovanou laboratoří ÚKZÚZ v Brně.

Přístupné živiny fosfor, draslík, vápník a hořčík byly extrahovány ze vzorků zeminy roztokem Mehlich III. Fosfor byl stanoven spektrofotometricky jako fosfomolybdenová modř, draslík byl stanoven atomovou emisní spektrofotometrií a pro vápník a hořčík byla využita metoda FAAS - plamenové atomové absorpční spektrofotometrie (ZBÍRAL 2002).

3.2.2 Chemické analýzy rostlinného materiálu

Na počátku, na konci 1. vegetačního období a po ukončení experimentu byly zjišťovány obsahy základních biogenních prvků (N, P, K, Ca, Mg) v orgánech resp. pletivech rostlin, a to v jehlicích, pupenech, jemných kořenech, slabých kořenech,

kůře kořenů, kůře kmínku a větví, dřevě kořenů a dřevě kmínku a větví. Analýzy byly realizovány standardními postupy používanými akreditovanou laboratoří ÚKZÚZ v Brně.

Stanovení dusíku:

Obsah celkového dusíku byl stanoven v mineralizátu podle Kjeldahla na přístroji Kjeltec AUTO 1030 Analyzer Tecator (ZBÍRAL 1994).

Stanovení fosforu, draslíku, vápníku, hořčíku:

Při mineralizaci na mokré cestě byly rostlinné vzorky oxidovány peroxidem vodíku v kyselině sírové za katalytického působení selenu a stanovení bylo provedeno metodou AES-ICP optickým emisním spektrometrem s indukčně vázaným plazmatem (ZBÍRAL 1994).

3.2.3 Zjišťování biometrických charakteristik růstu

V průběhu experimentu byly zjišťovány biometrické charakteristiky růstu sazenic:

Výška nadzemní části – byla měřena od kořenového krčku po vrchol terminálního pupene pomocí skládacího metru s přesností na 1 cm.

Průměr kořenového krčku – byl měřen v místě barevného přechodu podzemní a nadzemní části rostliny pomocí posuvného měřítka s přesností na 1 mm.

Délka pupenů – byla měřena od báze po jejich vrchol pomocí pravítka s přesností na 1 mm.

Délka jehlic a listů – byla měřena největší vzdálenost od báze k vrcholu listu nebo jehlice pomocí pravítka s přesností na 1 mm.

Šířka listů – byla měřena v nejširším místě pomocí pravítka s přesností na 1 mm.

Objem kořenového systému a nadzemní části – byl zjišťován xylometricky pomocí sady odměrných válců s přesností na 1 ml, menší objemy s přesností na 0,1 ml.

Objem jemných kořenů – byl zjišťován xylometricky objem kořenů o průměru menším než 1 mm, menší objemy s přesností na 0,1 ml.

Objem slabých kořenů – byl zjišťován xylometricky objem všech kořenů o průměru větším než 1 mm, menší objemy s přesností na 0,1 ml.

Měření výšky sazenic a průměru jejich kořenového krčku proběhla za první vegetační období celkem třikrát, a to těsně po založení experimentu 8.4.2004, dále 25.6.2004 a po ukončení přírůstu dřevin 8.10.2004. Ve druhém vegetačním období byly sazenice měřeny celkem dvakrát – po jarním přírůstu a na konci experimentu tedy 21.6.2005 a 7.10.2005.

Pro destruktivní xylometrické měření objemu nadzemní části, slabých kořenů a jemných kořenů bylo na začátku experimentu použito 15 semenáčků, po prvním roce z každé smrkové varianty 6 sazenic a z každé bukové varianty 5 sazenic. Na konci experimentu byly pro tyto analýzy použity všechny sazenice, které v experimentu zbyly, tedy přibližně 18 z každé varianty.

U všech biometrických analýz byl vypočten aritmetický průměr a směrodatná odchylka. Statistické výsledky byly podrobeny testu statistické významnosti t – testu. Statistická významnost hodnot byla vždy posuzována s výsledky biometrických analýz kontrolních variant.

3.2.4 Ošetřování

Všechny rostliny používané v experimentu byly dle potřeby zalévány a shodně ošetřovány. Dne 13.5. a 27.5.2004 byl na bukové sazenice aplikován přípravek Mospilan v 0,03% koncentraci, 20.5.2004 Vermitec v 0,06 % koncentraci a 4.6.2004 Calypso v 0,03% koncentraci vše proti mšici topolové, která tyto sazenice na začátku experimentu napadla. 4.10.2004 byly všechny sazenice zality 0,1 % roztokem Fundazolu, 0,15% roztokem Previcuru a 5.10.2004 0,4 % roztokem Ridomilu gold proti houbám a plísním. V roce 2005 byly 10.5. a 24.5. sazenice buku ošetřeny přípravkem Mospilan v 0,03% koncentraci proti mšici topolové. 18.5. a 2.6. 0,03 % roztokem přípravku Calypso rovněž proti mšici topolové.

4. Výsledky

4.1. Obsah živin v půdě

Na konci vegetačních období obou roků experimentu byl zjišťován obsah základních živin v půdě. Analýzy prokázaly, že během prvního vegetačního období došlo k podstatným změnám v množství přístupných živin, a to jak ve variantách Kontrolních, tak i ve variantách hnojených (tab. 4, 5). Změny se lišily v závislosti na dřevině, která byla do půdy vysazena.

Tab. 4

Obsah základních živin v půdě po 1. vegetačním období růstu sazenic smrku (podzim 2004)

Varianta	pH/ CaCl ₂	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Ca (mg/kg)
Kontrola	4,2	6	53	52	476
Dusík	4,0	2	39	38	264
Hořčík	4,0	3	42	53	238

Tab. 5

Obsah základních živin v půdě po 2. vegetačním období růstu sazenic smrku (podzim 2005)

Varianta	pH/ CaCl ₂	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Ca (mg/kg)
Kontrola	3,8	2	36	34	218
Kontrola + P	3,8	6	36	35	292
Dusík	3,7	3	40	35	260
Dusík + P	3,7	7	39	36	258
Hořčík	3,8	3	38	105	266
Hořčík + P	3,9	6	36	108	277

Smrk - varianta Kontrola

- V prvním roce došlo oproti výchozímu stavu (tab. 1) ke snížení obsahu P na cca polovinu původního množství (6 mg/kg). Ve druhém roce u Kontroly nepřihnojené P obsah tohoto prvku ještě klesl na 2 mg/kg.
- Obsah Ca v prvním roce mírně vzrostl na 476 mg/kg, ale ve druhém roce klesl na přibližně polovinu množství, které bylo zjištěno v prvním roce.
- Obsahy K a Mg se v prvním roce neměnily, ale ve druhém roce klesly u obou Kontrolních variant na cca 2/3 oproti prvnímu roku.

Smrk - varianta Dusík

- Po prvním roce se obsah všech sledovaných prvků významně snížil.
- Ve druhém roce u varianty dohnojené P došlo ke zvýšení obsahu tohoto prvku na 7 mg/kg, tedy na cca 2/3 původního obsahu P v zemině,
- Obsah Ca se v prvním roce snížil na přibližně polovinu původní hodnoty a ve druhém roce na této hodnotě zůstal.
- Obsah všech ostatních prvků u varianty Dusík + P i Dusík zůstal přibližně na stejné hladině jako po prvním roce.

Smrk - varianta Hořčík

- Po prvním roce se obsah K mírně snížil. U variant Hořčík a Hořčík+P ve druhém roce měl K stále sestupnou tendenci.
- V prvním roce se obsah Mg mírně snížil. Ve druhém roce měl na rozdíl od K vzestupnou tendenci u obou hořečnatých variant.
- Obsah P v prvním roce významně klesl. Ve druhém roce obsah P u varianty hořčík zůstal na hodnotě stejné jako v prvním roce, u varianty Hořčík +P vzrostl na 6 mg/kg.
- V prvním roce obsah Ca významně klesl. Ve druhém roce se obsah Ca u obou variant podstatně nezměnil.

V tabulkách 6 a 7 je vidět, jak se vyvíjel obsah živin v půdě u sazenic buku.

Tab. 6

Obsah základních živin v půdě po 1. vegetačním období růstu sazenic buku (podzim 2004)

Varianta	pH/ CaCl ₂	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Ca (mg/kg)
Kontrola	4,1	4	54	32	214
Dusík	4,0	3	53	31	200
Hořčík	4,1	3	58	58	231

Tab. 7

Obsah základních živin v půdě po 2. vegetačním období růstu sazenic buku (podzim 2005)

Varianta	pH/ CaCl ₂	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Ca (mg/kg)
Kontrola	3,8	2	29	33	220
Kontrola + P	3,9	10	39	36	265
Dusík	3,7	2	30	38	270
Dusík + P	3,7	6	30	33	256
Hořčík	3,8	1	29	102	252
Hořčík + P	3,8	5	31	116	288

Buk - varianta Kontrola

- Obsah Ca klesl po prvním roce cca na polovinu původní hodnoty, ve druhém roce se podstatně nezměnil.
- Obsah K klesl, ve druhém roce v poklesu pokračoval.
- Obsah Mg výrazně klesl, ve druhém roce se obsah Mg v půdě neměnil.
- Obsah P v prvním roce klesl téměř na 1/4 obsahu na začátku pokusu, ve variantě Kontrola + P se ve druhém roce dostal obsah P přibližně na původní hodnotu.

Buk - varianta Dusík

- V prvním roce obsah všech prvků klesl o něco více než u Kontrolní varianty.
- Po druhém roce u varianty Dusík+P vzrostl obsah P na dvojnásobek obsahu po prvním roce, u varianty Dusík oproti obsahu v prvním roce experimentu klesl.
- Obsah Ca po druhém roce vzrostl.
- Množství Mg u varianty Dusík + P zůstalo ve druhém roce přibližně stejné, zatímco u varianty Dusík vzrostlo.
- Obsah K ve druhém roce výrazně klesl.

Buk - varianta Hořčík

- Po prvním roce obsah P výrazně klesl. Po druhém roce u varianty Hořčík+P došlo k vzrůstu obsahu P. Obsah P u varianty Hořčík naopak velmi klesl.
- Obsah Ca po prvním roce výrazně klesl, ve druhém roce však obsah Ca u obou variant mírně vzrostl.
- Obsah K po prvním roce klesl jen mírně a i ve druhém roce měl jeho obsah sestupnou tendenci.
- Obsah Mg v prvním roce vzrostl dvojnásobně ve druhém roce vzrostl čtyřnásobně oproti původní hodnotě.

4.2 Výsledky chemických analýz obsahu prvků v rostlinných orgánech

4.2.1 Hodnocení výživy na základě analýzy jednoletých jehlic nebo listů

Vzhledem k tomu, že k posouzení úrovně výživy lesních dřevin nejsou stanoveny limitní hodnoty obsahu jednotlivých prvků v jiných částech rostlin než v asimilačním aparátu, byly využity k hodnocení úrovně výživy kontrolních a pokusných rostliny smrku a buku obsahy prvků v jednoletých jehlicích a listech.

Srovnání obsahů jednotlivých prvků v jednoletých jehlicích smrku s limitními obsahy N, P, K, Mg a Ca (BERGMANN 1983) potvrdilo, že semenáčky smrku použité k založení experimentu byly optimálně zásobeny všemi základními živinami (tab. 8). Posouzení stavu výživy bukových semenáčků na základě srovnání výsledků analýzy listů nebylo možné, protože v době vyzvedávání byly semenáčky v bezlistém dormantním stavu.

4.2.1.1 Hodnocení výživy smrku na základě analýzy jednoletých jehlic

Aplikace dusíkatých a hořečnatých hnojiv v pokusných variantách vyvolala oproti Kontrole změny v obsahu prvků v jednoletých jehlicích smrku (tab. 8).

Tab. 8

Obsahy prvků v jednoletých jehlicích semenáčků smrku na počátku experimentu a na konci 1. a 2. vegetačního období

Obsah v jedno- letých jehlicích		N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Optim. obsah (Bergmann 1983)		1,3 – 1,7	0,13 – 0,25	0,5 – 1,2	0,3 - 0,8	0,08 – 0,3
Kareňní obsah (Vavříček 2001)		1,0	0,1	0,2	0,05	0,06
Jaro 2004		1,34	0,21	0,70	0,74	0,11
Podzim 2004	Kontrola	1,43	0,07	0,73	0,64	0,17
	Dusík	2,74	0,07	0,71	0,69	0,17
	Hořčík	1,44	0,07	0,84	0,61	0,18
Podzim 2005	Kontrola	1,98	0,09	0,56	0,80	0,13
	Kontrola + P	1,80	0,08	0,40	0,94	0,13
	Dusík	3,33	0,08	0,44	0,48	0,13
	Dusík + P	3,00	0,10	0,55	0,71	0,13
	Hořčík	1,73	0,08	0,51	0,66	0,20
	Hořčík + P	1,86	0,06	0,69	0,70	0,19

Smrk - varianta Kontrola

- Srovnání obsahu živin v jednoletých jehlicích smrku na počátku experimentu (jaro 2004) a v jednoletých jehlicích Kontrolní varianty na konci 1. vegetačního období (podzim 2004) prokázalo zhoršené zásobení rostlin P, které dosáhlo kareňní oblasti.
- Ve druhém roce (podzim 2005) zůstal i u sazenic hnojených fosforem obsah P stále v kareňní oblasti.
- Obě Kontrolní varianty ve druhém roce vykázaly pokles obsahu K, varianta Kontrola+P dosáhla pod hranici optimálního zásobení tímto prvkem.

- Obsah N u obou Kontrolních variant mírně přesáhl optimální obsah.

Smrk - varianta Dusík

- V prvním roce se zvýšil obsah N v jednoletých jehlicích nad optimální úroveň, ve druhém roce jeho obsah nadále vzrůstal.
- Obsah P byl stejně jako u kontrolních rostlin v oblasti karence, a také ve druhém roce zůstal u obou variant hnojených N v této oblasti.
- K, Ca a Mg byly rostliny této varianty v prvním roce zásobeny optimálně. Ve druhém roce zůstaly u obou variant hnojených N obsahy K nad oblastí karečního obsahu, Ca a Mg zůstaly v optimu.

Ve druhém roce bylo na smrkových sazenicích var. Dusík patrně nafialovělé zbarvení druhého ročníku jehlic (obr. 3 viz Přílohy).

Smrk - varianta Hořčík

- V prvním roce obsah N zůstal v optimální oblasti, ve druhém roce obsah N u obou variant mírně přesáhl hranici optima.
- Obsah Ca v prvním i druhém roce experimentu zůstal v optimální oblasti.
- Obsah P se po prvním roce dostal, stejně jakou u kontrolních rostlin, do oblasti karečního a ve druhém roce v něm u obou variant zůstal.
- Obsahy K a Mg se v prvním roce zvýšily, ale zůstaly v oblasti optimálního zásobení. Ve druhém roce obsahy těchto prvků zůstaly v oblasti optima.

4.2.1.2 Hodnocení výživy buku na základě analýzy listů

Také u sazenic buku došlo v Kontrolní variantě i ve variantách hnojených ke změnám v obsahu prvků v listech (tab. 9).

Tab. 9

Obsahy prvků v listech buku na konci 1. a 2. vegetačního období

Obsah v listech		N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Optim. obsah (Bergmann 1983)		1,9 – 2,5	0,15 – 0,30	1,0 – 1,5	0,3 – 1,5	0,15 – 0,30
Karenční obsah (Vavříček 2001)		1,1	0,1	0,4	0,05	0,08
Jaro 2004		Nezjišťováno				
Podzim 2004	Kontrola	1,44	0,09	0,44	1,23	0,20
	Dusík	2,12	0,09	0,52	1,15	0,19
	Hořčík	1,58	0,09	0,47	1,20	0,23
Podzim 2005	Kontrola	1,31	0,06	0,45	0,70	0,13
	Kontrola + P	1,27	0,06	0,43	0,77	0,12
	Dusík	2,24	0,07	0,47	0,76	0,19
	Dusík + P	2,35	0,08	0,44	0,75	0,21
	Hořčík	1,40	0,06	0,56	1,00	0,30
	Hořčík + P	1,44	0,08	0,48	0,92	0,24

Buk - varianta Kontrola

- Kontrolní sazenice buku byly v prvním i ve druhém roce nedostatečně zásobeny P (karenční obsah).
- Obsahy N a K v sazenicích v prvním ani druhém roce nedosáhly optimálního obsahu, ale ani nedosáhly obsahu karenčního.
- Obsah Ca zůstal v obou letech sledování v optimu.
- Obsah Mg se u sazenic obou Kontrolních variant ve druhém roce snížil pod hranici optima, což se projevilo i vizuálně na listech (obr. 6, viz Přílohy).

Buk - varianta Dusík

- V prvním roce se obsah N zvýšil, ale pouze na úroveň optimálního zásobení, oproti původně nízkému. I ve druhém roce zůstal obsah N v oblasti optima.
- Obsah P byl v prvním i druhém roce v karenční oblasti.

- Obsah K byl v prvním roce větší než u kontrolních sazenic, ale zůstal v oblasti nedostatečného zásobení. Ve druhém roce se obsah tohoto prvku mírně snížil.
- Obsah Ca zůstal v obou letech v oblasti optimálního zásobení.
- Obsah Mg byl v prvním v oblasti optimálního zásobení. V této oblasti zůstal i ve druhém roce.

Buk - varianta Hořčík

- V prvním i ve druhém roce byl obsah N a K v oblasti nedostatečného zásobení.
- Obsah Ca byl v prvním roce optimální. Ve druhém roce obsah Ca mírně klesl, ale zůstal v oblasti dostatečného zásobení.
- V prvním roce byl obsah Mg optimální. Ve druhém roce byl obsah Mg u obou variant na horní hranici optima.
- Obsah P byl v prvním i druhém roce nedostatečný, pod hranicí karence.

4.2.2 Obsah prvků v jednotlivých orgánech (pletivech) sazenic smrku a buku

Při založení experimentu byly analyzovány orgány resp. pletiva semenáčků smrku a buku. U semenáčků smrku byly odděleně analyzovány pupeny, 1. a 2. ročník jehlic, kůra a dřevo nadzemní části, jemné kořeny (kořeny do průměru 1 mm) a slabé kořeny (kořeny o průměru větším než 1 mm). U semenáčků buku byly předmětem analýzy pupeny, kůra a dřevo nadzemní části, kůra kořenů, dřevo kořenů a jemné kořeny (kořeny o průměru menším než 1 mm). Ve všech uvedených orgánech resp. pletivech byly zjištěny obsahy N, P, K, Ca a Mg. Výsledky analýz jsou uvedeny v tabulkách 10 až 17.

4.2.2.1 Obsah prvků v jednotlivých orgánech (pletivech) sazenic smrku

Semenáčky smrku použité k založení experimentu měly největší obsah všech sledovaných prvků v prvním ročníku jehlic (tab. 8). Tyto prvky se ukládaly i v dalších částech rostliny (tab. 10). V následujícím komentáři jsou uvedeny orgány (pletiva) s nejvyšším obsahem daného prvku.

Tab. 10

Obsahy prvků v orgánech resp. pletivech semenáčků smrku na počátku experimentu (jaro 2004)

Orgán (pletivo) semenáčku	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Jemné kořeny	0,98	0,19	0,44	0,71	0,11
Slabé kořeny	0,36	0,09	0,30	0,32	0,07
Kůra NČ	1,13	0,19	0,65	0,61	0,12
Dřevo NČ	0,53	0,10	0,35	0,17	0,05
1. roč. jehlic	1,34	0,21	0,70	0,74	0,11
2. roč. jehlic	1,31	0,43	0,88	1,27	0,20
Pupeny	2,12	0,36	0,78	0,56	0,15

- N se ukládal v pupenech, v 1. roč. a 2. ročníku jehlic.
- P se ukládal ve 2. roč. jehlic, pupenech a 1. roč. jehlic.
- K se ukládal ve 2. roč. jehlic, pupenech a 1. roč. jehlic.
- Ca se ukládal ve 2. roč. jehlic, v 1. roč. jehlic a v jemných kořenech.
- Mg se ukládal ve 2. ročníku jehlic, pupenech a kůře.

Obsahy prvků v jednotlivých orgánech sazenic smrku po prvním roce experimentu jsou uvedeny v tabulce 11.

Tab. 11

Obsahy prvků v jednotlivých orgánech a pletivech smrku (podzim 2004)

Obsah prvků v sušině															
Zkoumaný prvek	N (%)			P (%)			K (%)			Ca (%)			Mg (%)		
Varianta	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík
Jemné kořeny	1,07	1,64	1,03	0,10	0,10	0,09	0,52	0,61	0,60	0,32	0,27	0,24	0,09	0,05	0,12
Slabé kořeny	0,42	1,08	0,44	0,03	0,05	0,03	0,20	0,30	0,30	0,25	0,22	0,22	0,05	0,04	0,06
Kůra nadz. části	0,81	1,31	0,72	0,06	0,07	0,05	0,45	0,56	0,62	0,60	0,59	0,65	0,09	0,09	0,11
Dřevo nadz. části	0,50	0,55	0,38	0,03	0,03	0,03	0,21	0,36	0,44	0,21	0,16	0,19	0,04	0,05	0,08
1.roč. jehlic	1,43	2,74	1,44	0,07	0,07	0,07	0,73	0,71	0,85	0,64	0,69	0,61	0,17	0,17	0,18
2.roč. jehlic	1,21	2,29	1,13	0,08	0,07	0,07	0,71	0,75	1,04	0,95	0,91	1,00	0,16	0,14	0,16
Pupeny	1,34	1,62	1,23	0,16	0,17	0,14	0,60	1,03	1,02	0,33	0,37	0,40	0,13	0,12	0,13

- N se ukládal v 1. ročníku jehlic a pupenech u rostlin kontrolních i hnojených Mg (var. Hořčík). Sazenice hnojené N (var. Dusík) ukládaly N v 1 a 2. ročníku jehlic a v jemných kořenech.
- P se ukládal v pupenech a jemných kořenech bez ohledu na to, zda byly či nebyly rostliny hnojeny a jakým hnojivem.
- K se ukládal rozdílně podle typu použitého hnojiva. U kontrolních rostlin se hromadil v 1. ročníku jehlic, u sazenic hnojených N v pupenech a u sazenic hnojených Mg ve 2. ročníku jehlic.
- Ca se ukládal především ve 2. ročníku jehlic bez ohledu na to, zda byly rostliny hnojeny a jakým hnojivem. Pouze hnojení Mg zvýšilo obsah Ca v kůře nadzemní

části oproti rostlinám kontrolním a hnojeným síranem amonným (var. Dusík), u kterých se Ca hromadil v 1. ročníku jehlic.

- Mg se ukládal v 1. a 2. ročníku jehlic a v pupenech, bez ohledu na to, zda byly sazenice hnojeny a jakým hnojivem.

Tabulka č.12 obsahuje údaje o množství prvků v pletivech sazenic smrku, ke kterým ve druhém roce experimentu nebyl dodán P.

Tab. 12

Obsahy prvků v jednotlivých orgánech a pletivech sazenic smrku ke kterým nebyl dodán fosfor (podzim 2005)

Obsah prvků v sušině															
Zkoumaný prvek	N (%)			P (%)			K (%)			Ca (%)			Mg (%)		
Varianta	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík
Jemné kořeny	1,01	1,87	0,87	0,08	0,09	0,08	0,37	0,30	0,45	0,38	0,50	0,36	0,04	0,04	0,14
Slabé kořeny	0,45	1,08	0,40	0,03	0,04	0,04	0,19	0,16	0,22	0,25	0,37	0,26	0,03	0,04	0,07
Kůra nadz. části	0,99	1,95	0,90	0,06	0,05	0,07	0,46	0,39	0,43	0,59	0,59	0,69	0,10	0,10	0,15
Dřevo nadz. části	0,41	0,89	0,41	0,04	0,03	0,04	0,26	0,22	0,40	0,20	0,26	0,18	0,05	0,05	0,12
1.roč. jehlic	1,98	3,33	1,73	0,09	0,08	0,08	0,56	0,59	0,51	0,80	0,71	0,66	0,13	0,13	0,20
Pupeny	1,51	1,24	1,34	0,14	0,15	0,15	0,71	1,01	0,74	0,31	0,40	0,27	0,09	0,20	0,15

- N se nejvíce ukládal v 1. ročníku jehlic a pupenech u rostlin kontrolních i hnojených Mg (var. Hořčík), tedy stejně jako v prvním roce. Sazenice hnojené N

(var. Dusík) ukládaly nejvíce N v 1. ročníku jehlic a hodně, ale výrazně méně než do jehlic, ukládaly N v kůře nadzemní části a jemných kořenech.

- P se nejvíce ukládal v pupenech bez ohledu na to, zda byly či nebyly rostliny hnojeny a jakým hnojivem.
- K se ukládal stejně jako v prvním roce, bez ohledu na typu použitého hnojiva. Hromadil se nejvíce v pupenech, přičemž var. Dusík jej měla nejvíce. Dalším místem, kam se K hodně ukládal, byly jednoleté jehlice.
- Ca se ukládal především v 1. ročníku jehlic bez ohledu na to, zda byly rostliny hnojeny a jakým hnojivem. Dále se u všech variant ukládal v kůře nadzemní části a u var. Dusík jej bylo hodně i v jemných kořenech.
- Mg se u variant Kontrola a Hořčík nejvíce ukládal v 1. ročníku jehlic a v pupenech. Sazenice varianty Dusík však nejvíce ukládaly Mg v pupenech.

Tabulka č.13 obsahuje údaje o množství prvků v pletivech sazenic smrku, kterým ve druhém roce experimentu byl dodán P.

Tab. 13

Obsahy prvků v jednotlivých orgánech a pletivech sazenic smrku ke kterým byl dodán fosfor (podzim 2005)

Obsah prvků v sušině															
Zkoumaný prvek	N (%)			P (%)			K (%)			Ca (%)			Mg (%)		
Varianta	Kontrola + P	Dusík + P	Hořčík + P	Kontrola + P	Dusík + P	Hořčík + P	Kontrola + P	Dusík + P	Hořčík + P	Kontrola + P	Dusík + P	Hořčík + P	Kontrola + P	Dusík + P	Hořčík + P
Jemné kořeny	0,98	1,47	1,06	0,09	0,10	0,08	0,44	0,47	0,44	0,56	0,29	0,48	0,07	0,04	0,12
Slabé kořeny	0,44	0,81	0,48	0,04	0,04	0,03	0,21	0,20	0,23	0,39	0,18	0,35	0,05	0,04	0,07
Kůra nadz. části	0,86	1,61	0,90	0,06	0,08	0,05	0,41	0,45	0,51	0,65	0,62	0,67	0,11	0,12	0,14
Dřevo nadz. části	0,39	0,66	0,36	0,04	0,04	0,02	0,26	0,21	0,27	0,15	0,26	0,20	0,07	0,05	0,09
1.roč. jehlic	1,80	3,00	1,86	0,08	0,10	0,06	0,40	0,55	0,69	0,94	0,71	0,70	0,13	0,13	0,19
Pupeny	0,65	0,69	1,28	0,16	0,15	0,11	0,79	0,73	0,68	0,49	0,28	0,26	0,12	0,16	0,14

- N se nejvíce ukládal v 1. ročníku jehlic a pupenech pouze u sazenic hnojených Mg (var. Hořčík). Sazenice hnojené N (var. Dusík) ukládaly nejvíce N v 1. ročníku jehlic a hodně, ale výrazně méně než do jehlic, ukládaly N v kůře nadzemní části a jemných kořenech. Sazenice Kontrolní varianty se při distribuci N chovaly přibližně stejně jako sazenice hnojené N.
- P se nejvíce ukládal v pupenech bez ohledu na to, zda byly či nebyly rostliny hnojeny a jakým hnojivem. Méně se pak ukládal v 1. ročníku jehlic a jemných kořenech.
- K se hromadil u varianty Dusík a Kontrola nejvíce v pupenech. U varianty Hořčík se K ukládal nejvíce v jednoletých jehlicích.

- Ca se ukládal především v 1. ročníku jehlic bez ohledu na to zda byly rostliny hnojeny a jakým hnojivem. Dále se stejně jako u variant nedohnojovaných P u všech variant ukládal v kůře nadzemní části a u var. Dusík jej bylo hodně i v jemných kořenech.
- Mg se u variant Kontrola a Hořčík nejvíce ukládal v 1. ročníku jehlic a v pupenech. U sazenic varianty Dusík se však ukládal Mg nejvíce v pupenech.
-

4.2.2.2 Obsah prvků v jednotlivých orgánech (pletivech) sazenic buku

Semenáčky buku použité k založení experimentu (jaro 2004) měly jinou strategii v ukládání prvků v orgánech a pletivech než neopadavý jehličnan smrk (tab. 14 – 17).

Obsahy prvků v jednotlivých orgánech sazenic buku při zakládání experimentu jsou uvedeny v tabulce 14.

Tab. 14

Obsahy prvků v orgánech resp. pletivech semenáčků buku na počátku experimentu (jaro 2004)

Orgán (pletivo) semenáčku	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Jemné kořeny	1,74	0,23	0,70	0,60	0,19
Dřevo kořenů	1,32	0,15	0,27	0,10	0,14
Kůra kořenů	1,19	0,10	0,60	2,45	0,15
Dřevo kmínku a větví	1,06	0,09	0,31	0,14	0,11
Kůra kmínku a větví	1,31	0,10	0,46	2,55	0,15
Pupeny	1,24	0,16	0,41	0,55	0,12

- N se ukládal v jemných kořenech, ve dřevě kořenů a kůře kmínků a větví.
- P se ukládal v jemných kořenech, pupenech a dřevě kořenů.
- K se ukládal v jemných kořenech, kůře kořenů a kůře stonků a větví.

- Ca se ukládal v kůře kmene a větví , v kůře kořenů a jemných kořenech.
- Mg se ukládal v jemných kořenech, kůře kmínku a větví a kůře kořenů.

Obsahy prvků v jednotlivých orgánech sazenic buku po prvním roce experimentu jsou uvedeny v tabulce č.15.

Tab. 15

Obsahy prvků v jednotlivých orgánech a pletivech buku (podzim 2004)

Obsah živin v sušině															
Prvek	N (%)			P (%)			K (%)			Ca (%)			Mg (%)		
Varianta	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík
Jemné kořeny	0,68	1,06	0,86	0,06	0,07	0,07	0,46	0,55	0,60	0,26	0,29	0,28	0,10	0,14	0,17
Dřevo kořenů	0,30	0,79	0,50	0,03	0,03	0,06	0,35	0,23	0,32	0,12	0,13	0,14	0,07	0,06	0,10
Kůra kořenů	0,71	1,18	0,80	0,05	0,05	0,05	0,48	0,40	0,50	2,21	2,79	2,97	0,11	0,10	0,15
Dřevo kmínku a větví	0,48	1,16	0,36	0,05	0,09	0,05	0,28	0,22	0,27	0,33	0,33	0,28	0,05	0,07	0,07
Kůra kmínku a větví	0,83	1,10	0,83	0,05	0,05	0,05	0,31	0,28	0,35	1,66	1,98	1,61	0,07	0,08	0,08
Pupeny	0,98	1,08	1,19	0,11	0,10	0,11	0,47	0,64	0,52	0,43	0,38	0,40	0,11	0,10	0,13
Listy	1,44	2,12	1,58	0,09	0,09	0,09	0,44	0,52	0,47	1,23	1,15	1,20	0,20	0,19	0,23

- N se ukládal v listech a pupenech bez ohledu na to, zda byly sazenice hnojeny a jakým hnojivem.
- P se ukládal v pupenech a listech bez ohledu na to, zda byly sazenice hnojeny a jakým hnojivem.
- K se u rostlin nehnojených ukládal v kůře kořenů, u sazenic hnojených N v pupenech a u sazenic hnojených Mg v jemných kořenech.

- Ca se ukládal v kůře kořenů a kůře kmínků a větví bez ohledu na to, zda byly rostliny hnojeny a jakým hnojivem.
- Mg se ukládal v listech, bez ohledu na to zda byly sazenice hnojeny a jakým hnojivem.

Tabulka č.16 obsahuje údaje o množství prvků v pletivech sazenic buku, kterým ve druhém roce experimentu nebyl dodán P.

Tab. 16

Obsahy prvků v jednotlivých orgánech a pletivech sazenic buku ke kterým nebyl dodán fosfor (podzim 2005)

Obsah živin v sušině															
Prvek	N (%)			P (%)			K (%)			Ca (%)			Mg (%)		
Varianta	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík	Kontrola	Dusík	Hořčík
Jemné kořeny	0,76	1,26	0,71	0,05	0,06	0,05	0,29	0,39	0,39	0,31	0,24	0,25	0,06	0,11	0,13
Dřevo kořenů	0,42	1,27	0,31	0,02	0,03	0,03	0,21	0,25	0,25	0,20	0,19	0,19	0,05	0,08	0,12
Kůra kořenů	0,64	1,32	0,61	0,03	0,05	0,03	0,37	0,35	0,35	1,15	1,90	1,47	0,07	0,13	0,15
Dřevo kmínku a větví	0,26	0,59	0,27	0,02	0,02	0,03	0,22	0,29	0,23	0,23	0,20	0,19	0,05	0,07	0,10
Kůra kmínku a větví	0,85	1,14	0,76	0,03	0,04	0,04	0,27	0,24	0,27	1,98	2,13	1,88	0,08	0,11	0,15
Pupeny	1,11	1,36	1,32	0,09	0,11	0,12	0,56	0,73	0,62	0,60	0,41	0,53	0,12	0,13	0,18
Listy	1,31	2,24	1,40	0,06	0,07	0,06	0,45	0,47	0,56	0,70	0,76	1,00	0,13	0,19	0,30

- N se ukládal v listech a pupenech bez ohledu na to, zda byly sazenice hnojeny a jakým hnojivem.
- P se ukládal ve větším množství v pupenech a o něco méně v listech bez ohledu na to, zda byly sazenice hnojeny a jakým hnojivem.

- K se ukládal ve větším množství v pupenech a o něco méně v listech, bez ohledu na to, zda byly sazenice hnojeny a jakým hnojivem.
- Ca se výrazně ukládal v kůře kmínků a větví o něco méně v kůře kořenů, bez ohledu na to, zda byly rostliny hnojeny a jakým hnojivem.
- Mg se ukládal v listech, bez ohledu na to, zda byly sazenice hnojeny a jakým hnojivem.

Tabulka č.17 obsahuje údaje o množství prvků v pletivech sazenic buku, kterým ve druhém roce experimentu byl dodán P.

Tab. 17

Obsahy prvků v jednotlivých orgánech a pletivech sazenic buku ke kterým byl dodán fosfor (podzim 2005)

Obsah živin v sušině															
Prvek	N (%)			P (%)			K (%)			Ca (%)			Mg (%)		
Varianta	Kontrola + P	Dusík + P	Hořčík + P	Kontrola + P	Dusík + P	Hořčík + P	Kontrola + P	Dusík + P	Hořčík + P	Kontrola + P	Dusík + P	Hořčík + P	Kontrola + P	Dusík + P	Hořčík + P
Jemné kořeny	0,74	1,46	0,75	0,07	0,07	0,06	0,35	0,34	0,28	0,27	0,28	0,26	0,08	0,06	0,15
Dřevo kořenů	0,26	1,23	0,25	0,03	0,05	0,03	0,24	0,20	0,27	0,22	0,21	0,17	0,06	0,07	0,11
Kůra kořenů	0,85	1,38	0,63	0,03	0,05	0,05	0,34	0,33	0,35	0,65	1,29	1,95	0,08	0,13	0,16
Dřevo kmínku a větví	0,25	0,93	0,25	0,03	0,04	0,03	0,20	0,18	0,23	0,19	0,26	0,20	0,05	0,08	0,10
Kůra kmínku a větví	0,69	1,33	0,70	0,03	0,05	0,04	0,26	0,21	0,31	1,96	2,12	1,51	0,08	0,12	0,18
Pupeny	1,17	1,36	0,61	0,11	0,11	0,12	0,55	0,65	0,61	0,43	0,45	0,49	0,11	0,12	0,18
Listy	1,27	2,35	1,44	0,06	0,08	0,08	0,43	0,44	0,48	0,77	0,75	0,92	0,12	0,21	0,24

- N se u sazenic hnojených N (var. Dusík) nejvíce ukládal v listech a jemných kořenech u sazenic Kontrolní varianty a var. Hořčík se nejvíce ukládal v listech a pupenech.

- P se ukládal ve větším množství v pupenech a o něco méně v listech a jemných kořenech, bez ohledu na to, zda byly sazenice hnojeny a jakým hnojivem.
- K se ukládal ve větším množství v pupenech a o něco méně v listech bez ohledu na to, zda byly sazenice hnojeny a jakým hnojivem.
- Ca se u hnojených variant výrazně ukládal v kůře kmínků a větví, o něco méně v kůře kořenů. U Kontrolní varianty se ukládal v kůře kmínků a větví a v listech.
- Mg se nejvíce ukládal v listech, bez ohledu na to zda byly sazenice hnojeny a jakým hnojivem.

4.3 Biometrické charakteristiky sazenic

Výživa semenáčků a sazenic má vztah k jejich výškovému a tloušťkovému růstu a velikosti jejich kořenového systému vzhledem k nadzemní části. Proto byla pozornost věnována i těmto parametrům.

Na konci prvního vegetačního období nebyly zjištěny průkazné rozdíly ve výšce nadzemní části hnojených variant smrku oproti Kontrole. Průměr kořenového krčku byl průkazně vyšší než v Kontrole pouze ve variantě Dusík na konci prvního vegetačního období (tab. 18).

Tab. 18

Biometrické charakteristiky růstu semenáčků smrku v průběhu 1. roku experimentu

Varianta	Výška nadzemní části			Průměr kořenového krčku		
	(cm)			(mm)		
Datum	8.4.2004	25.6.2004	8.10.2004	8.4.2004	25.6.2004	8.10.2004
Kontrola	17,0±2,00	20,9±0,53	21,8±2,06	2,32±0,47	2,90±0,53	3,50±0,58
Dusík	16,8±1,20-	20,5±2,08-	20,7±1,88-	2,40±0,48-	2,80±0,51-	3,90±0,67+
Hořčík	17,1±1,35-	21,1±1,92-	21,8±1,71-	2,12±0,32-	2,50±0,50+	3,40±0,17-

Ve druhém vegetačním období byly zjištěny vysoce průkazné rozdíly ve výšce nadzemní části u sazenic hnojených Mg, které byly dohnojeny P. Průkazný rozdíl ve

výšce byl nalezen i u sazenic z var. Hořčík nehnojených P. U varianty Dusík+P byl v průběhu sezóny průkazný rozdíl v tloušťce kořenového krčku, tento rozdíl však již na konci sezóny průkazný nebyl. U varianty Hořčík+P byl průkazný rozdíl v tloušťce kořenového krčku na konci vegetačního období (tab. 19).

Tab. 19

Biometrické charakteristiky růstu semenáčků smrku v průběhu 2. roku experimentu

Varianta	Výška nadzemní části (cm)		Průměr kořenového krčku (mm)	
Datum	15.6.2005	7.10.2005	Datum	15.6.2005
Kontrola	23,33 ± 1,70	24,11 ± 1,97	4,22 ± 0,92	4,78 ± 0,92
Kontrola + P	21,78 ± 2,57	22,22 ± 2,57	3,78 ± 0,63	4,89 ± 0,87
Dusík	21,78 ± 2,82-	23,00 ± 3,27-	4,22 ± 0,63-	4,67 ± 0,75-
Dusík + P	22,13 ± 1,90-	22,80 ± 1,72-	4,50 ± 0,50+	5,20 ± 0,75-
Hořčík	23,33 ± 2,21-	23,89 ± 2,42+	4,00 ± 0,00-	4,89 ± 0,57-
Hořčík + P	25,60 ± 1,80++	26,33 ± 1,76++	4,40 ± 0,66-	5,67 ± 0,67+

Na konci vegetačního období prvního roku experimentu nebyly zjištěny průkazné rozdíly ve výšce a tloušťce hnojených sazenic buku oproti Kontrole (tab. 20).

Tab. 20

Biometrické charakteristiky růstu semenáčků buku v průběhu 1. roku experimentu

Varianta	Výška nadzemní části (cm)			Průměr kořenového krčku (mm)		
Datum	8.4.2004	25.6.2004	8.10.2004	8.4.2004	25.6.2004	8.10.2004
Kontrola	50,8±6,68	52,8±6,94	53,6±6,87	8,5±1,24	8,8±1,12	10,0±1,11
Dusík	50,8±7,34-	52,9±6,91-	53,7±6,86-	7,9±0,82-	8,5±0,76-	10,0±0,82-
Hořčík	49,6±4,75-	51,2±4,76-	51,9±4,59-	8,2±0,94-	8,7±0,88-	9,6±1,02-

Ve druhém vegetačním období byly průkazné rozdíly nalezeny pouze ve výšce nadzemní části u varianty Hořčík nedohnojené P. Sazenice této varianty byly průkazně nižší než sazenice varianty Kontrola (tab 21.).

Tab. 21
Biometrické charakteristiky růstu semenáčků buku v průběhu 2. roku experimentu

Varianta	Výška nadzemní části (cm)		Průměr kořenového krčku (mm)	
	Datum			
	15.6.2005	7.10.2005	15.6.2005	7.10.2005
Kontrola	57,30 ± 6,21	57,50 ± 5,90	10,80 ± 0,98	10,90 ± 0,94
Kontrola + P	51,10 ± 6,43	51,40 ± 6,15	10,60 ± 1,20	10,80 ± 0,98
Dusík	53,40 ± 7,43-	53,40 ± 7,43-	10,30 ± 1,35-	10,60 ± 1,36-
Dusík + P	56,00 ± 7,01-	56,30 ± 6,75-	10,20 ± 0,87-	11,10 ± 0,94-
Hořčík	51,30 ± 5,12+	51,75 ± 5,55+	10,00 ± 0,89-	10,25 ± 0,43-
Hořčík + P	53,00 ± 4,27-	53,03 ± 4,12-	9,70 ± 0,64-	10,40 ± 0,80-

Hnojení hořkou solí (var. Hořčík) neprůkazně snížilo průměrný počet pupenů na jednu rostlinu smrku. Aplikace síranu amonného (var. Dusík) vysoce průkazně zvýšila délku pupenů sazenic smrku. Délka jehlic se ani po hnojení N (var. Dusík), ani po hnojení Mg (var. Hořčík) průkazně nezměnila (tab. 22).

Tab. 22

Průměrný počet a délka pupenů a průměrná délka jehlic smrku po 1. roce experimentu (podzim 2004)

Varianta	Pupeny		Délka jehlic (mm)
	počet (ks*rostl. ⁻¹)	délka (mm)	
Kontrola	26,4±3,63	1,78±0,64	10,28±2,26
Dusík	28,8±3,92-	2,50±0,67++	9,98±2,41-
Hořčík	23,4±3,47-	1,94±0,68-	10,56±2,16-

Na rozdíl od prvního roku experimentu nebyly u žádné varianty zjištěny průkazné rozdíly v délce jehlic či v délce pupenů (tab. 23).

Tab. 23

Průměrný počet a délka pupenů a průměrná délka jehlic smrku po 2. roce experimentu (podzim 2005)

Varianta	Pupeny		Délka jehlic (mm)
	počet (ks*rostl. ⁻¹)	délka (mm)	
Kontrola	29,5±4,09	2,26±0,82	10,42±2,37
Kontrola + P	28,5±3,98	2,12±0,86	10,26±2,33
Dusík	28,0±4,15-	2,40±0,78-	9,80±2,29-
Dusík + P	27,3±4,11-	2,64±0,77-	9,33±2,61-
Hořčík	30,60±4,16-	2,58±0,90-	10,50±2,10-
Hořčík + P	31,50±4,20-	2,64±0,84-	10,78±2,41-

Hnojení hořkou solí (var. Hořčík) průkazně snížilo průměrný počet pupenů na jednu rostlinu buku. Průměrná délka pupenů buku se vysoce průkazně zvýšila ve variantě Dusík a průkazně ve variantě Hořčík. Hnojení hořkou solí (var. Hořčík) průkazně snížilo délku bukových listů, ale šířka listů se od Kontroly průkazně nelišila. Na rozdíl od toho hnojení síranem amonným (var. Dusík) průkazně zvýšilo šířku bukových listů, ale jejich délka se průkazně nezměnila (tab. 24).

Tab. 24

Počet a průměrná délka pupenů a průměrné rozměry listů buku po 1. roce experimentu (podzim 2004)

Varianta	Pupeny		Listy	
	počet (ks*rostl. ⁻¹)	délka (mm)	délka (mm)	šířka (mm)
Kontrola	54,4±5,98	12,23±1,55	47,70±8,42	28,36±4,37
Dusík	56,6±6,03-	14,12±1,68++	50,52±7,36-	30,16±3,79+
Hořčík	39,8±5,07+	12,94±1,91+	44,74±5,42+	27,06±4,00-

Ve druhém roce experimentu oproti kontrolním sazenicím byla průkazně větší pouze délka pupenů sazenic varianty Dusík+P. Sazenice variant Hořčík a Hořčík+P měly průkazně menší počet pupenů než sazenice Kontrolních variant. Ostatní bukové sazenice se od Kontrolní varianty průkazně nelišily ani v délce pupenů ani v rozměrech listů (tab. 25).

Tab. 25

Průměrný počet a délka pupenů a průměrná délka a šířka listů buku po 2. roce experimentu (podzim 2005)

Varianta	Pupeny		Listy	
	počet (ks*rostl. ⁻¹)	délka (mm)	délka (mm)	šířka (mm)
Kontrola	52,40±5,68	12,18±1,52	48,12±6,97	28,16±3,54
Kontrola + P	57,50±6,82	12,22±1,60	48,80±6,07	28,48±4,06
Dusík	57,60±6,65-	13,52±1,74-	50,50±5,18-	29,10±3,34-
Dusík + P	58,90±6,93-	13,86±1,67+	49,88±5,69-	28,60±3,46-
Hořčík	40,80±4,79+	13,08±1,98-	44,26±4,52-	26,70±3,29-
Hořčík + P	41,50±4,82+	13,10±1,90-	45,00±5,07-	27,70±2,93-

Aplikace dusíkatých a hořečnatých hnojiv (var. Dusík a var. Hořčík) neovlivnila průkazně objem jednotlivých frakcí kořenů ani celého kořenového systému smrkových sazenic (tab. 26).

Tab. 26

Objem kořenového systému a nadzemní části semenáčků smrku po 1. roce experimentu (podzim 2004)

Varianta	Objem kořenů (ml*rostl ⁻¹)		Objem koř. systému (ml*rostl ⁻¹)	Objem nadz. části (ml*rostl ⁻¹)	Poměr objemu KS : NČ
	jemné kořeny	slabé kořeny			
Kontrola	4,33±2,82	0,58±0,19	4,92±2,82	4,33±0,90	1,14
Dusík	4,00±2,10-	0,83±0,37-	4,83±2,41-	4,17±1,14-	1,16
Hořčík	4,67±1,18-	0,58±0,40-	5,25±1,07-	4,17±0,90-	1,26

Objem jemných kořenů a i celého kořenového systému u sazenic var. Dusík dohnojené P byl průkazně menší než u Kontrolní varianty. U var. Hořčík byl objem jemných kořenů naopak průkazně větší. Objem nadzemní části byl u var. Dusík+P vysoce průkazně menší, zatímco u obou variant hnojených Mg byl vysoce průkazně větší. Poměr objemu KS:NČ u varianty Dusík+P byl vysoký z toho důvodu, že sazenice této varianty měly na nadzemní části velmi malý podíl jehlic, které po získání nafialovělého zbarvení opadaly (tab. 27, obr. 3).

Tab. 27

Objem kořenového systému a nadzemní části sazenic smrku po 2. roce experimentu (podzim 2005)

Varianta	Objem kořenů (ml*rostl. ⁻¹)		Objem koř. systému (ml*rostl. ⁻¹)	Objem nadz. části (ml*rostl. ⁻¹)	Poměr objemu KS : NČ
	jemné kořeny	slabé kořeny			
Kontrola	5,61±1,05	0,94±0,28	6,56±1,28	5,83±0,94	1,12
Kontrola + P	5,06±0,76	1,06±0,28	6,11±0,99	5,50±0,58	1,11
Dusík	5,17±1,99-	0,92±0,34-	6,08±2,28-	5,83±2,61-	1,04
Dusík + P	4,10±0,58+	0,80±0,24-	4,90±0,73+	3,50±0,55++	1,40
Hořčík	6,94±1,32+	1,17±0,24-	8,11±1,45-	7,72±0,97++	1,05
Hořčík + P	6,28±1,80-	1,28±0,42-	7,56±2,14-	7,44±1,44++	1,01

Ani bukové sazenice v prvním roce nereagovaly na hnojení dusíkatými a hořečnatými hnojivy (var. Dusík, var. Hořčík) změnou ve velikosti (objemu) celého kořenového systému. Pouze ve variantě Dusík se průkazně zvýšil objem slabých kořenů (tab. 28).

Tab. 28

Objem kořenového systému a nadzemní části semenáčků buku po 1. roce experimentu (podzim 2004)

Varianta	Objem kořenů (ml*rostl. ⁻¹)		Objem koř. systému (ml*rostl. ⁻¹)	Objem nadzemní části (ml*rostl. ⁻¹)	Poměr objemu KS : NČ
	jemné kořeny	slabé kořeny			
Kontrola	52,40±12,06	13,80±3,92	66,20±12,50	17,40±2,58	3,80
Dusík	53,40±13,09-	20,80±4,26+	74,20±16,15-	23,20±4,40-	3,20
Hořčík	36,20±9,06-	15,20±0,75-	51,40±8,38-	15,60±1,74-	3,29

Naproti tomu ve druhém roce pokusu byl u sazenic buku var. Dusík průkazně větší objem jemných kořenů i celého kořenového systému. U obou variant hnojených N byl objem jemných kořenů i celého kořenového systému prokazatelně menší. Objem

nadzemní části varianty Dusík byl vysoce průkazně větší než objem nadzemní části Kontrolní varianty nedohnojené P. U varianty Hořčík+P byl objem nadzemní části průkazně vyšší než u varianty Kontrola+P (tab. 29).

Tab. 29

Objem kořenového systému a nadzemní části sazenic buku po 2. roce experimentu (podzim 2005)

Varianta	Objem kořenů (ml*rostl. ⁻¹)		Objem koř. systému (ml*rostl. ⁻¹)	Objem nadz. části (ml*rostl. ⁻¹)	Poměr objemu KS : NČ
	jemné kořeny	slabé kořeny			
Kontrola	47,10±7,63	22,00±3,22	69,10±8,80	20,70±1,10	3,34
Kontrola + P	53,10±11,23	24,30±4,47	77,40±13,64	25,40±4,20	3,05
Dusík	54,30±5,00+	24,90±3,88-	79,20±8,44+	26,00±3,07++	3,05
Dusík + P	55,50±6,52-	27,20±3,09-	82,70±9,17-	28,70±5,18-	2,88
Hořčík	39,25±6,61+	20,88±1,83-	60,13±7,93+	21,50±2,12-	2,80
Hořčík + P	41,30±7,42+	21,30±1,85-	62,60±8,96+	22,00±2,24+	2,85

Po prvním roce experimentu se neprojevovalo hnojení dusíkatými a hořečnatými hnojivy (var. Dusík, var. Hořčík) na sušině jednotlivých frakcí kořenů ani celého kořenového systému, a to ani u smrku (tab. 30), ani u buku (tab. 32).

Tab. 30

Sušina kořenového systému a nadzemní části semenáčků smrku po 1. roce experimentu (podzim 2004)

Varianta	Sušina kořenů (g*rostl. ⁻¹)		Sušina celého koř. systému (g*rostl. ⁻¹)	Sušina nadz. části (g*rostl. ⁻¹)	<u>Poměr</u> KS : NČ
	jemné kořeny	slabé kořeny			
Kontrola	1,05±0,66	0,25±0,07	1,29±0,71	1,12±0,52	1,15
Dusík	0,82±0,47-	0,32±0,10-	1,14±0,52-	1,22 ±0,29-	0,93
Hořčík	0,78±0,11-	0,28±0,12-	1,06±0,21-	1,20±0,31-	0,88

Ve druhém roce měly průkazně až vysoce průkazně menší hmotnost sazenice varianty Dusík dohnojené P. Varianta Hořčík měla průkazně větší hmotnost slabých kořenů. Všechny ostatní varianty se výrazně nelišily od variant Kontrolních (tab. 31).

Tab. 31

Sušina kořenového systému a nadzemní části sazenic smrku po 2. roce experimentu (podzim 2005)

Varianta	Sušina kořenů (g*rostl. ⁻¹)		Sušina celého koř. systému (g*rostl. ⁻¹)	Sušina nadz. části (g*rostl. ⁻¹)	Poměr <u>KS : NČ</u>
	jemné kořeny	slabé kořeny			
Kontrola	0,99±0,39	0,30±0,11	1,29±0,49	1,23±0,49	1,04
Kontrola + P	0,99±0,36	0,46±0,16	1,45±0,48	1,36±0,45	1,06
Dusík	0,90±0,34-	0,33±0,07-	1,23±0,39-	1,08±0,34-	1,14
Dusík + P	0,61±0,11+	0,23±0,04++	0,84±0,15-	0,71±0,15++	1,19
Hořčík	1,17±0,30-	0,41±0,08+	1,58±0,37-	1,45±0,35-	1,09
Hořčík + P	1,25±0,54-	0,45±0,10-	1,70±0,63-	1,63±0,55-	1,04

Tab. 32

Sušina kořenového systému a nadzemní části semenáčků buku po 1. roce experimentu (podzim 2004)

Varianta	Sušina kořenů (g*rostl. ⁻¹)		Sušina celého koř. systému (g*rostl. ⁻¹)	Sušina nadz. části (g*rostl. ⁻¹)	Poměr <u>KS : NČ</u>
	jemné kořeny	slabé kořeny			
Kontrola	9,60±3,20	10,68±3,20	20,28±5,96	8,97±2,23	2,26
Dusík	10,15±3,58-	14,41±3,16-	24,56±6,42-	13,35±3,49-	1,84
Hořčík	6,88±2,20-	10,70±2,32-	17,59±4,07-	8,45±1,22-	2,08

Sazenice varianty Dusík+P neměly oproti sazenicím Kontrolní varianty průkazně odlišnou hmotnost žádné části rostlinného těla. Sazenice varianty Dusík měly vysoce průkazně větší hmotnost nadzemní části. Sazenice obou variant hnojených Mg měly

naproti tomu průkazně až vysoce průkazně menší hmotnost kořenového systému (tab. 33).

Tab. 33

Sušina kořenového systému a nadzemní části sazenic buku po 2. roce experimentu (podzim 2005)

Varianta	Sušina kořenů (g*rostl. ⁻¹)		Sušina celého koř. systému (g*rostl. ⁻¹)	Sušina nadz. části (g*rostl. ⁻¹)	Poměr <u>KS : NČ</u>
	jemné kořeny	slabé kořeny			
Kontrola	9,96±1,61	12,07±2,36	22,02±3,66	11,02±2,10	2,00
Kontrola + P	10,54±2,04	12,90±2,43	23,43±4,31	13,63±3,80	1,72
Dusík	10,34±1,61-	12,39±1,27-	22,73±2,70-	17,04±3,36++	1,33
Dusík + P	10,87±1,72-	12,88±2,55-	23,75±4,19-	16,23±3,64-	1,46
Hořčík	7,23±1,39++	9,76±2,13+	16,98±3,37++	10,70±4,26-	1,59
Hořčík + P	7,91±1,66++	10,57±1,63+	18,49±3,21+	10,92±3,77-	1,69

4.4 Ztráty

Během prvního vegetačního období došlo pouze u smrku během května k úhynu jedné sazenice z Kontrolní varianty. Bukové sazenice nezaznamenaly během roku 2004 žádnou ztrátu.

Roku 2005 byly ztráty na sazenicích větší. Kontrolní varianta smrkových sazenic zůstala beze ztrát, zatímco ve variantě Dusík i Dusík+P uhynuly 3 sazenice. Varianta Hořčík zůstala beze ztrát, zatímco ve variantě Hořčík+P uhynula 1 sazenice. U bukových sazenic byly ztráty stejně jako v prvním roce menší. Pouze ve variantě Hořčík uhynuly dvě sazenice, v ostatních variantách nebyly zaznamenány ztráty.

5. Diskuse

Cílem práce bylo zjistit, ve kterých orgánech (resp. pletivech) smrku ztepilého a buku lesního se hromadí základní biogenní prvky dusík a hořčík a jaký vliv mají na kořenový systém i nadzemní část sazenic vysoké koncentrace dusíku a hořčíku dosažené přehnojením. Během dvou let, kdy experiment probíhal, byl ovlivněn několika faktory, které mohly zároveň ovlivnit i výsledky pokusu.

Prvním faktorem je půda, do které byly semenáčky sázeny. Jak již bylo zmíněno v metodice experimentu, půda byla chudá na fosfor. Výsledky chemických analýz půdy byly srovnány s hodnotami obsahu přístupných živin v lesních půdách v edatopu přirozených stanovišť (VAVŘÍČEK 2001) a byl zjištěn nízký obsah fosforu. Ostatních sledovaných přístupných živin měla půda střední obsah. Nedostatek fosforu v půdě se v dalších letech experimentu ještě prohluboval. To vedlo k rozdělení pokusu na další varianty, které byly fosforem ve druhém roce hnojeny. Jak je patrné z výsledků, tento postup neměl výrazně pozitivní přínos. Pravděpodobně to bylo z toho důvodu, že půda byla chudá na humus, který jak uvádí BERGMANN a ČUMAKOV (1977), na sebe fosfor váže. V humusu se fosfor ukládá a stává se přístupným pro rostlinu. Nízký obsah fosforu se ukazoval i v chemických analýzách orgánů rostlin. Jediný orgán ve kterém se fosfor v obou letech pravidelně ukládal ve více než 0,1 procentním množství byly pupeny. Tento jev se projevoval jak u smrku, tak i u buku, přičemž nebylo podstatné, zda byly varianty ve druhém roce hnojeny fosforem. Ostatní orgány obsahovaly v obou letech experimentu většinou velmi malé množství fosforu. Jehlice smrku, které byly srovnány s optimálním i karenčním obsahem v jehlicích podle BERGMANNA (1983) a VAVŘÍČKA (2001), obsahovaly u všech variant karenční množství fosforu. Na obrázku 3 (viz Přílohy) je vidět karenční nedostatek fosforu i vizuálně. Nafialovělé zabarvení asimilačních orgánů je dle BERGMANNA a ČUMAKOVA (1977) typické pro rostliny, kterým chybí fosfor.

Dalším faktorem, který mohl ovlivnit průběh experimentu je to, že se asimilační orgány smrku ztepilého všech variant na jaře prvního roku experimentu mírně spálily vlivem slunečního záření (obr. 4 a 7, viz Přílohy). Tento faktor ovlivnil růst smrku nejen v prvním, ale i ve druhém roce experimentu. Dále způsobil nedostatek jehlic druhého ročníku potřebný k chemickým analýzám. Na obr. 4 je patrné, že další ročník jehlic již nebyl spálen a zůstal na sazenicích. Absence starších asimilačních orgánů však mohla ovlivnit růst sazenic a následné biometrické analýzy.

Výsledky provedeného experimentu umožňují srovnání vlivu extrémních dávek dusíku a hořčíku na sazenice smrku a buku se sazenicemi nehnojenými. Přestože dávky prvků byly vysoké lze konstatovat, že nezpůsobily větší úhyn sazenic.

Po prvním vegetačním období došlo ve všech variantách se smrkem ke snížení zásobení půdy P na úroveň velmi nízkého obsahu. Ve druhém roce většinou pokles pokračoval, ale u variant hnojených hořkou solí se obsah P zvýšil. Pokud by tento trend následovaly i analýzy rostlin, šlo by tuto skutečnost vysvětlit tím, že vysoký příjem Mg^{2+} souvisí s vysokým příjmem fosforu (BAIER et al. 1996). Fosfor se totiž v kořenech rychle zabudovává do fosforylových vazeb a v této formě je dále dopravován po rostlině, k čemuž je potřeba hořčík. Analýzy částí rostlin smrku však tuto skutečnost nepotvrdily.

Aplikace síranu amonného (var. Dusík) snížila obsah přístupného K a Ca (na nízký obsah) a došlo ke snížení obsahu přístupného Mg, který však zůstal v oblasti středního zásobení. Celkové snížení obsahu všech sledovaných prvků, které pokračovalo i ve druhém roce, lze vysvětlit tím, že dusík podporuje tvorbu bílkovin a je důležitým stavebním prvkem rostlinného těla. Jeho nadbytek způsobuje velké odčerpávání ostatních živin potřebných k tvorbě biomasy (PROCHÁZKA et. al 1998). K nadměrnému růstu sazenic však nedocházelo pravděpodobně z důvodu naprostého nedostatku P. Sazenice hnojené síranem amonným tedy trpěly malým obsahem všech sledovaných prvků kromě N, což se výrazně projevilo i na jejich biometrických charakteristikách.

Aplikace hořké soli (var. Hořčík) obsah přístupného Mg v prvním roce nezvýšila, ve druhém se obsah Mg zvýšil, ale ne nijak markantně.

V důsledku větší potřeby živin pro růst listnatých dřevin došlo oproti výchozímu stavu ve variantách s bukem k výrazným změnám v obsahu P, Ca a Mg v půdě (tab. 2, 6 a 7). V pokusné řadě s bukem byly všechny varianty dle hodnocení VAVŘÍČKA (2001) zcela nedostatečně zásobeny P, nedostatečně zásobeny Ca a středně zásobeny K. Hnojení hořkou solí (var. Hořčík) zvýšilo obsah Mg v půdě o téměř 100 %, ale v prvním roce obsah odpovídal stále střednímu zásobení tímto prvkem. Ve druhém roce obsah opět vzrostl, u sazenic dohnojených fosforem až na hranici středního a dobrého zásobení Mg.

Jak již bylo uvedeno výše, k posouzení úrovně výživy lesních dřevin nejsou dosud stanoveny limitní hodnoty obsahu jednotlivých prvků v jiných částech rostlin

než v asimilačním aparátu. Proto byly využity k hodnocení úrovně výživy kontrolních a pokusných rostlin smrku a buku obsahy prvků v jednoletých jehlicích a listech.

Ve všech variantách experimentu se smrkem byl zjištěn v jednoletých jehlicích kareční obsah P. Hnojení síranem amonným (var. Dusík) zvýšilo obsah N v prvním roce nad úroveň optimálního obsahu, ve druhém roce zvyšování pokračovalo nad hranici 3% obsahu. Sazenice varianty Dusík vykazaly v průměru nejmenší obsahy všech prvků, což je pravděpodobně dáno vysokým odběrem prvků k tvorbě biomasy, přičemž sazenicím nebyly žádné další živiny dodány.

U sazenic vyvolalo hnojení hořkou solí (var. Hořčík) v prvním roce pokles a ve druhém roce u obou variant mírný nárůst obsahu Ca. To nasvědčuje tomu, že vysoké koncentrace Mg v půdě a v rostlině působí především narušováním rovnováhy Ca/Mg (BAIER a BAIEROVÁ 1985).

Sazenice buku všech variant měly v listech kareční obsah P a nedostatečný obsah N a K. Hnojení síranem amonným (var. Dusík) zvýšilo obsah N v jednoletých jehlicích na optimální obsah. Hnojení hořkou solí (var. Hořčík) vyvolalo zvýšení obsahu Mg. Obě hořčnaté varianty měly podstatně větší obsah Ca v listech než ostatní varianty, což je pravděpodobně vyvoláno opět tím, že koncentrace Mg úzce souvisí s koncentracemi Ca.

Na základě analýz jednoletých jehlic bylo zjištěno, že po prvním i po druhém vegetačním období měly sazenice smrku kareční obsah P v jehlicích (tab. 8). Tato skutečnost se projevovala i u sazenic fosforem dohnojených. Nedostatečná výživa fosforem se patrně odrazila v pořadí orgánů a pletiv, ve kterých se ukládaly jednotlivé prvky (tab. 10 až 13).

Hned po prvním vegetačním období růstu sazenic smrku v podmínkách nedostatečného zásobení fosforem došlo k určitým změnám v pořadí orgánů (pletiv), kde se prvky ukládaly.

Hlavním místem, kam se ukládal N u sazenic tímto prvkem nehnojených, byly jehlice a pupeny, pouze u sazenic varianty Dusík se N ukládal kromě jehlic také do jemných kořenů. Fosfor se u všech variant v obou letech nejvíce ukládal v pupenech, stejně jako draslík ve druhém roce experimentu. Draslík se však v prvním roce ukládal podle použitého hnojiva rozdílně. Ca se ukládal u všech variant především v jehlicích a hodně i v kůře nadzemní části. Obsah Mg byl u všech variant největší v jehlicích a

pupenech. Hnojení síranem amonným (var. Dusík) a hořkou solí (var. Hořčík) distribuci prvků v rostlině výrazně neovlivnilo.

Po druhém vegetačním období růstu sazenic smrku nedohnojovaných fosforem nedošlo k velkým změnám v pořadí orgánů (pletiv), kde se prvky ukládaly oproti prvnímu roku. Hnojení síranem amonným (var. Dusík) byla mírně pozměněna distribuce hořčíku – ukládal se o mnoho více do pupenů než do 1. ročníku jehličí. Dále tato varianta měla oproti ostatním variantám v pupenech o mnoho více draslíku. Hnojení hořkou solí (var. Hořčík) distribuci prvků v rostlině výrazně neovlivnilo.

U sazenic buku nedostatek fosforu pravděpodobně velmi ovlivnil strategii distribuce jednotlivých prvků do částí sazenic. U sazenic ze školky (tab. 14) se až na vápník všechny prvky ukládaly především v jemných kořenech. Ca se ukládal především v kůře. U pokusných sazenic se N začal ukládat převážně v listech bez ohledu na použité hnojivo. Fosfor se stejně jako u smrkových sazenic ukládal hlavně v pupenech, opět bez ohledu na použité hnojivo. Draslík se po prvním roce ukládal rozdílně dle použitého hnojiva, ve druhém roce v pupenech a listech bez ohledu na to, jakým hnojivem byly sazenice hnojeny. Vápník byl jediným prvkem, který po celou dobu experimentu nezměnil strategii v distribuci prvků a vždy se nejvíce ukládal v kůře kmínku a větví, nebo kořenů. Zatímco u sazenic odebraných na začátku experimentu ze školky se hořčík ukládal v jemných kořenech, tak u sazenic odebíraných v průběhu experimentu se Mg ukládal hlavně v listech, což pravděpodobně souvisí s tím, že atom Mg tvoří základ chlorofylu.

Po prvním roce u sazenic buku s karenčním obsahem P a nedostatečně zásobených N a K došlo ke změně v pořadí orgánů (pletiv), kde se ukládaly základní biogenní prvky. Hnojení síranem amonným (var. Dusík) a hořkou solí (var. Hořčík) distribuci prvků významně neovlivnilo (tab. 15 až 17).

Z výsledků analýz ve druhém roce je zjevné, že nedostatečné zásobení P, N, K ovlivňovalo ukládání prvků víc než hnojení dusíkem a hořčíkem. Výjimka byla zjištěna u Ca. Sazenice v tomto případě nezměnily strategii při jeho ukládání.

Z biometrických analýz vyplývá, že v prvním roce hnojení sazenic nijak výrazně neovlivnilo žádnou biometrickou charakteristiku smrku a buku.

Ve druhém roce se průkazně zvětšila výška nadzemní části sazenic smrku hnojených Mg. Obě varianty N (označené na fotografii jako 2) sice neměly průkazně menší vzrůst,

ale to, že byly v podstatně horším zdravotním stavu ukazuje obr. 5 (viz Přílohy), na kterém je patrný i velký vzrůst sazenic varianty Hořčík (na obrázku označené jako 3).

Většina sazenic buku neprokázala ani ve druhém roce žádnou průkaznou odchylku ve vzrůstu a tloušťce kořenového krčku od kontrolní varianty. Pouze varianta Hořčík prokázala výrazně menší vzrůst oproti kontrolní variantě. Tato skutečnost může souviset se zkušenostmi DVOŘÁKA (1928) a BERGMANNA a NEUBERTA (1976), kteří pozorovali na půdách s vyšší koncentrací Mg menší vzrůst rostlin.

Průkazné zvýšení velikosti pupenů u smrku i buku se ve druhém roce nepotvrdilo, což je pravděpodobně dáno absencí fosforu, který blokoval přísun ostatních prvků a tedy tvorbu biomasy.

Vysoce průkazné zvětšení objemu nadzemní části sazenic smrku hnojených hořčíkem (tab. 26 a 27), které se projevilo hlavně v druhém roce viz (obr. 5 viz Přílohy), může souviset se skutečností, že Mg je aktivátorem biochemických reakcí spojených s přeměnou nedostatkového P v rostlinách (BERGMANN a ČUMAKOV 1977). BAIER et al. (1996) k této problematice uvádí, že vysoký příjem Mg často souvisí s vysokým příjmem fosforu, kterého sazenice a půda použité k experimentu měly malý až kareční obsah. BAIER et al. (1996) dále uvádí, že o fosforu je známo, že je v kořenech rychle zabudován do fosforylových vazeb a v této formě dále dopravován. K tomu je zřejmě potřebný hořčík a proto je mu připisována úloha „nosiče“ fosforu. Naproti tomu velmi malý objem nadzemní části sazenic hnojených dusíkem je pravděpodobně dán tím, že dusík nemohl být rostlinou přijímán díky absenci ostatních makroprvků, převážně tedy fosforu.

Poměr objemu KS:NČ u varianty Dusík+P byl vysoký z toho důvodu, že sazenice této varianty měly na nadzemní části malý podíl jehlic, které po získání nafialového zbarvení opadaly. Tento symptom je dle BERGMANNA a ČUMAKOVA (1977) příznakem deficiencie hořčíku.

Sazenice buku ukazovaly opačný trend. Větší objem nadzemní části měly sazenice hnojené dusíkem. Objem sazenic hnojených Mg byl naopak menší, než u kontrolních variant. Tato skutečnost je pravděpodobně dána velkým rozdílem mezi distribucí prvků v listnatých a jehličnatých dřevinách. Dusík byl u buku potřeba k tvorbě listů, zatímco u smrkových sazenic, které mají část jehlic i přes zimu, není N tolik využitelný, což potvrzují vyšší nároky na dusík u bukových sazenic, které uvádí VAVŘÍČEK (2001).

Hmotnost sušiny sazenic v podstatě kopíruje objem, tudíž nevyžaduje zvláštní komentář.

Ztráty se nejvíce projevíly u sazenic smrku hnojených dusíkem. Sazenice této varianty měly i podstatně menší objem nadzemní části, hmotnost sušiny a navíc se u nich ve druhém roce experimentu objevilo typické fialové zbarvení (obr. 3 viz Přílohy).

6. Závěr

S cílem zjistit, ve kterých orgánech (resp. pletivech) smrku ztepilého a buku lesního se hromadí základní biogenní prvky dusík a hořčík a jaký vliv na kořenový systém i nadzemní část sazenic mají vysoké koncentrace dusíku a hořčíku dosažené přehnojením, byly založeny nádobové experimenty v kontrolovaných podmínkách. Z experimentů vyplynuly následující závěry.

Smrk

- V semenáčcích smrku optimálně zásobených živinami se Mg ukládá v nadzemní části, nejvíce ve starších jehlicích, stejně jako (P, K a Ca). N se nejvíce ukládá v pupenech, a v mladších jehlicích.
- V sazenicích smrku deficientních na P, se N i Mg ukládají především v mladších jehlicích, bez ohledu na to, zda byly rostliny hnojeny a jakým hnojivem.
- Největší procentický nárůst obsahu N byl u zjištěn ve slabých kořenech (až o 200%) a jehlicích (až o 149%). Největší procentický nárůst obsahu Mg byl zjištěn ve dřevě nadzemní části (až o 140%) a jehlicích (až o 82%).
- Z hlediska biometrických charakteristik, sazenice smrku s karenčním obsahem fosforu negativně ovlivnila nadměrné dávky dusíku. Nadměrné dávky hořčíku jimi byly přijímána dobře a vykazovaly větší přírůst biomasy.

Buk

- V semenáčcích buku použitých k založení experimentu se N i Mg ukládaly v jemných kořenech, stejně jako P a K. Ca se ukládal v kůře kmínku a větví. Nedostatek fosforu velmi ovlivnil distribuci živin v sazenicích buku. U sazenic deficientních na P, se N a Mg hromadily v listech a pupenech stejně jako P. Ca jako jediný nezměnil v sazenicích deficientních na P strategii ukládání a nadále se

ukládal v kůře kmínků a kořenů bez ohledu na to, zda byly sazenice hnojeny a jakým hnojivem.

- Největší procentický nárůst obsahu N byl u zjištěn v kůře kořenů (až o 16%) a listech (až o 11%). Největší procentický nárůst obsahu Mg byl zjištěn v pupenech (až o 50%) a listech (až o 30%).
- Sazenice buku s karečným obsahem fosforu hnojené dusíkem vykázaly větší přírůsty, zatímco sazenice hnojené hořčíkem menší přírůsty, než sazenice kontrolní varianty.

U bukových a smrkových sazenic se většina sledovaných prvků ukládá v asimilačních orgánech. Největší procentický nárůst obsahu N i Mg byl zjištěn v různých orgánech (viz výše), druhý největší nárůst obsahu těchto prvků měly vždy asimilační orgány. Z toho plyne, že pro zjišťování množství prvků přijatých dřevinou je nejlepší používat chemické analýzy asimilačních orgánů.

8. Seznam použité literatury

1. BAIER, J.: Malá abeceda výživy rostlin. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1957, 202 s.
2. BAIER, J. BAIEROVÁ, V.: Abeceda výživy rostlin a hnojení. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1985, 364 s.
3. BAIER, J. et al.: Význam hořčíku pro výživu rostlin, zvířat a člověka. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha, 1996, 54s.
4. BERGMANN, W.: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung und Diagnose. VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1983, 614 s.
5. BERGMANN, W., ČUMAKOV, A.: Kl'úč na určovanie porúch vo výžive rastlín. VEB G. Fischer Verlag Jena a Příroda Bratislava, 1977, 295 s.
6. BERGMANN, W., NEUBERT, P.: Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1976, 711 s.
7. CAPE, N., FREER-SMITH, P.H., PATERSON, I. S., PARKINSON, J.A., WOLFENDEN, J.: The nutritional status of *Picea abies* (L.) Karst. across Europe, and implications for forest decline . Trees 4, 1990, s. 211-224.
8. DVOŘÁK, R.: Nanismy (trpasličí formy rostlinné) hadcové stepi u Mohelna na Moravě. Klub přírodovědců, Brno, 1928, 9s.
9. FIEDLER H. J., NEBE, W., HOFFMANN, F.: Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1973, 481 s.
10. HÜTTL, R. F., SCHAAF, W. Magnesium deficiency in forest ecosystems. Kluwer Academic Pub, Dordrecht, 1997, 362 s.
11. INGESTAD, T.: Studies on the nutrition of forest tree seedlings. Physiologia Plantarum, 12, 1959, s. 568-593
12. INGESTAD, T.: Mineral nutrition requirements of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. Physiologia Plantarum, 45, 1979, s. 373-380
13. KENNEL, M.: Stoffeinträge in Waldgebiete Bayerns. Allgemeine Forstzeitschrift, 49, 1994, č. 2, s. 69 – 72
14. LARCHER, W.: Fyziologická ekologie rostlin, Academia Praha, 1988, 361 s.
15. LYR, H., POLSTER, H., FIEDLER, H. J.: Gehölzphysiologie. VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1967, 444 s.
16. KINCL, L., KINCL, M., JAKRLOVÁ, J.: Biologie rostlin, Fortuna, 1996, 111 s.

17. MENGEL, K., KIRKBY, E.A.: Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute Berne, Switzerland, 1978, 593 s.
18. MEHNE-JAKOBS, B.: Seasonal development of the photosynthetic performance of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) under magnesium deficiency. Plant and Soil, 168-169, 1995, s. 255-261.
19. NÁROVEC, V.: 100x o hnojení v lese. Lesnická práce, 2001, 31 s.
20. NILSSON, L.O., WIKLUND, K.: Influence of nutrient and water stress on Norway spruce production in south Sweden - the role of air pollutants. Plant and Soil, 147, 1992, s. 251-265.
21. OREN, R., WERK, K.S., SCHULZE, E.D., MEYER, J.: Performance of two *Picea abies* (L.) Karst. stands at different stages of decline. VI. Nutrient concentrations. Oecologia, 77, 1988, s. 151 – 162.
22. OSONUBI, O., OREN, K. S., WERK, K. S., SCHULZE, E. D., HEILMEIER, H.: Performance of two *Picea abies* (L.) Karst. stands at different stages of decline. VII. Nutrient relations and growth. Oecologia, 77, 1988, s. 1-6
23. PALÁTOVÁ, E., MAUER, O.: Chřadnutí lesních porostů pod vlivem zvýšených depozic dusíku stresu a suchem. MZLU v Brně, 1996, 51 s.
24. PROCHÁZKA, S., MACHÁČKOVÁ, I., KREKULE, J., ŠEBÁNEK, J.: Fyziologie rostlin. Academia, 1998, 484 s.
25. RUBIN, B.A.: Fyziologie rostlin. Academia, Praha, 1966, 485 s.
26. RYANT, P., RICHTER, R., HLUŠEK, J., FRYŠČÁKOVÁ, E.: Multimediální učební texty z výživy rostlin. [online] Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v Brně, 2004, [cit. 2006-03-15].
Dostupný z: <<http://www.af.mendelu.cz/agrochem/multitexty/index.htm>>
27. UHLÍŘOVÁ, H., KAPITOLA, P. a kol.: Poškození lesních dřevin. Lesnická práce, 2004, 281 s.
28. VAVŘÍČEK, D.: Možnosti a postupy hnojení v lesním hospodářství. MZLU v Brně, (rukopis) 2001, 14 s.
29. ZBÍRAL, J.: Analýza rostlinného materiálu. Jednotné pracovní postupy. SKZÚZ Brno, 1994, 224 s.
30. ZBÍRAL, J.: Analýza půd I. Jednotné pracovní postupy, ÚKZÚZ Brno, 2002, 159 s.
31. ZELENÝ, F.: Výživa rostlin a potřeba hnojení (Studijní zpráva). Plant nutrition and fertilizing need (Review). Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1993, 59 s.

9. Teze

Práce shrnuje výsledky dvouletého experimentu, který se zabýval vlivem vysokých koncentrací dusíku a hořčíku na růst sazenic smrku ztepilého a buku lesního. Pomocí výsledků chemických analýz bylo zjištěno, v kterých orgánech (resp. pletivech) se hromadí základní makrobiogenní prvky. Práce dále obsahuje podrobné tabulky s údaji o množství většiny makrobiogenních prvků v pletivech sazenic. Cílem práce je zjistit, ve kterých orgánech (resp. pletivech) smrku ztepilého a buku lesního se základní biogenní prvky dusík a hořčík hromadí a jaký mají vliv na kořenový systém i nadzemní část sazenic vysoké koncentrace dusíku a hořčíku dosažené přehnojením.

Z údajů uvedených v kapitole Rozbor problematiky vyplývá, že distribuce prvků v dřevinách zatím nebyla ve větším měřítku zjišťována.

K experimentu byly použity semenáčky buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) 1+0 a smrku ztepilého (*Picea abies* L. Karst.). Vyzvednuty byly 6.4.2004 ze školek Svinošice tak, aby všechny sazenice jednotlivých dřevin měly podobný vzrůst, tj. vyrovnanou výšku i tloušťku kořenového krčku i podobný habitus.

Experiment byl založen a probíhal na pracovišti ÚKZÚZ v Brně - Pisárkách. Semenáčky obou sledovaných druhů byly vysázeny do desetilitrových nádob naplněných 9 kg zeminy. Na dno nádob byly umístěny 2 kg drenážního materiálu. Nádoby i se semenáčky byly umístěny na stoly s dřevěnými rošty. Pod každou nádobu byla instalována miska, v případě přelití zachytila odtékající vodu z nádoby. Voda byla následně vrácena zpět do nádoby, aby nedošlo k vyplavení sledovaných živin. Varianty v roce 2004 byly celkem tři u každého druhu dřeviny.

Varianty 2004:

Kontrola – bez hnojení, standardní zálivka

Dusík – $100 \text{ kg prvku} \times \text{ha}^{-1} \times \text{rok}^{-1}$, standardní zálivka

Hořčík – $100 \text{ kg prvku} \times \text{ha}^{-1} \times \text{rok}^{-1}$, standardní zálivka

Hořčík byl sazenicím dodáván v síranové formě hořkou solí (heptahydrát síranu hořečnatého). Dusík byl dodáván ve formě síranu amonného. Experiment byl zahájen na jaře v roce 2004 a ukončen na podzim roku 2005.

Vzhledem k tomu, že chemickými analýzami na konci roku 2004 byl zjištěn velmi malý obsah fosforu ve všech sazenicích, rozdělil jsem každou variantu na dvě části. První část byla jednorázově dohnojena hnojivem Superfosfát tak, že ke každé sazenici bylo přidáno 12 mg čistého fosforu na 1 kg zeminy. Tím se v roce 2005 počet variant zdvojnásobil a u každé dřeviny měl experiment 6 variant.

Analýzy obsahu prvků byly realizovány standardními postupy používanými akreditovanou laboratoří ÚKZÚZ v Brně.

Hlavní faktory, které mohly ovlivnit experiment byly dva. Prvním faktorem je půda, do které byly semenáčky sázeny. Jak již bylo zmíněno, půda byla velmi chudá na fosfor, což mohlo ovlivnit jak distribuci prvků v rostlině, tak i růst sazenic. Dalším faktorem, který mohl ovlivnit průběh experimentu je to, že se asimilační orgány smrku ztepilého všech variant na jaře prvního roku experimentu mírně spálily vlivem slunečního záření, což způsobilo nedostatek jehlic druhého ročníku potřebný k chemickým analýzám. Absence starších asimilačních orgánů však mohla ovlivnit růst sazenic i následné biometrické analýzy.

Z experimentů vyplynuly následující závěry. V semenáčcích smrku optimálně zásobených živinami se Mg ukládá v nadzemní části, nejvíce ve starších jehlicích, stejně jako (P, K a Ca). N se nejvíce ukládá v pupenech, a v mladších jehlicích. V sazenicích smrku deficientních na P, se N i Mg ukládají především v mladších jehlicích, bez ohledu na to, zda byly rostliny hnojeny a jakým hnojivem. Největší procentický nárůst obsahu N byl u zjištěn ve slabých kořenech (až o 200 %) a jehlicích (až o 149 %). Největší procentický nárůst obsahu Mg byl zjištěn ve dřevě nadzemní části (až o 140 %) a jehlicích (až o 82 %).

V semenáčcích buku použitých k založení experimentu se N i Mg ukládaly v jemných kořenech, stejně jako P a K. Ca se ukládal v kůře kmínku a větví. Nedostatek fosforu velmi ovlivnil distribuci živin v sazenicích buku. U sazenic deficientních na P, se N a Mg hromadily v listech a pupenech stejně jako P. Ca jako jediný nezměnil v sazenicích deficientních na P strategii ukládání a nadále se ukládal v kůře kmínků a kořenů bez ohledu na to, zda byly sazenice hnojeny a jakým hnojivem. Největší procentický nárůst obsahu N byl u zjištěn v kůře kořenů (až o 16%) a listech (až o 11%). Největší procentický nárůst obsahu Mg byl zjištěn v pupenech (až o 50%) a listech (až o 30%).

U bukových a smrkových sazenic se většina sledovaných prvků ukládá v asimilačních orgánech. Největší procentický nárůst obsahu N i Mg byl zjištěn v různých orgánech, druhý největší nárůst obsahu těchto prvků měly vždy asimilační orgány. Z toho plyne, že pro zjišťování množství prvků přijatých dřevinou je nejlepší používat chemické analýzy asimilačních orgánů.