

VÝVOJ ZDRAVOTNÍHO STAVU A MINERÁLNÍ VÝŽIVY SMRKOVÝCH MLAZIN V JIZERSKÝCH HORÁCH V OBDOBÍ SNIŽOVÁNÍ IMISNÍ ZÁTĚŽE

CHANGES IN THE HEALTH STATE AND NUTRITION LEVEL OF YOUNG FOREST STANDS IN THE JIZERA MTS. (JIZERSKÉ HORY, CZECH REPUBLIC) DURING DECREASE OF AIR POLLUTION LOAD

VÍT ŠRÁMEK - BOHUMÍR LOMSKÝ - RADEK NOVOTNÝ

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady

ABSTRACT

The aim of the article is to evaluate changes in the health state and nutrition level of young forest stands caused by the historical development of the air pollution load. Nineteen research plots were selected on the Jizera Mts. (Jizerské hory, Czech Republic) plateau, within complexes of young Norway spruce stands. Since 1993 tree crown defoliation and height increment have been assessed every year after the vegetation season. Sampling of needles for nutrient analyses was done every autumn together with the crown condition assessment. Soil samples were taken in 1995, 1999, 2003 and 2009. Samples of the upper organic layer and of the mineral soil in 0–30 cm depth were taken separately. Samples of assimilation organs, humus and mineral soil were prepared and analyzed according to the standard ICP Forests methods. Long term results have confirmed that the health state, expressed in crown defoliation, is affected by combination of various stress factors (air pollution, frost and temperature, nutrition supply). Health status has significantly improved and crown defoliation values got comparable to those of other forest regions in the Czech Republic. There was found a significant dependence between crown defoliation and height increment as well as the significant dependence of crown defoliation on concentrations of elements in the needles. Foliar concentrations of stress elements (sulfur, fluorine), and potassium were positively correlated with the crown defoliation, the nitrogen and magnesium content displayed the negative dependence. Foliar analysis has demonstrated a significant decrease in air pollution load, and a problem with insufficient uptake of phosphorus has also been indicated. Soil analyses confirmed the fact that the soil environment is acidic and the amounts of accessible phosphorus, exchangeable magnesium and calcium are significantly deficient in the mineral soil. The persistent problem in nutrition may adversely affect growth and development of the health status of the monitored spruce stands in the future.

Klíčová slova: smrk ztepilý, zdravotní stav, defoliace, obsahy živin, fosfor, hořčík, stresové prvky, nedostatek přístupných živin v minerální půdě, Jizerské hory

Key words: Norway spruce, health status, defoliation, phosphorus, magnesium, stress elements, deficient nutritional status, Jizera Mts.

ÚVOD

Znečištění ovzduší od poloviny devatenáctého století významně ovlivňuje stav lesních porostů na řadě míst zejména severní polokoule. V průběhu této doby se významně proměňuje jak výše imisní zátěže, tak její kvalitativní složení (WIELER 1905; GARBER 1966; SCHULZE et al. 1989; MATYSSEK et al. 1997; KARNOSKY et al. 2007). V České republice byly průmyslovými imisemi postiženy zejména horské oblasti pohraničních pohoří. Nejvýrazněji se projevilo znečištění oxidem siřičitým a fluorovodíkem v sedmdesátých a osmdesátých letech 20. století, kdy především v Krušných a Jizerských horách docházelo k plošnému poškození lesů i k jejich následnému odumírání (VINŠ et al. 1982; MATERNA 1983; JIRGLE et al. 1983; PFANZ et al. 1994; ZIMMERMANN et al. 2002; LOMSKÝ et al. 2002). V průběhu 90. let docházelo k výraznému poklesu koncentrací oxidu siřičitého na celém území ČR (LOMSKÝ, ŠRÁMEK 2002). Přímé působení SO₂ na lesní porosty ztrácelo na významu a při současné úrovni emisí síry je možnost plošného poškození lesních porostů touto škodlivinou málo pravděpodobná.

Vitalita lesních porostů je ovšem nadále ovlivňována nepřímo působícími vlivy. Za jeden z dominantních faktorů je považována dlouhodobá acidifikace lesních půd, která se projevuje poklesem pH humusové vrstvy a minerální půdy, vyplavováním bazických kationů i mobilizací toxických kovů, zejména hliníku (CRONAN, GRIGAL 1995). Česká republika v minulosti patřila a stále patří k oblastem s nejvyšší úrovní kyselých depozic v Evropě (HŮNOVÁ et al. 2004). Acidifikace se výrazně projevuje v horských oblastech s vysokými úhrny srážek, převážně nízkou pufrací kapacitou půd a nízkou nasyceností půdy bazickými kationty. V posledních dvaceti letech se výrazně snížila depozice síranů a výraznějším acidifikačním faktorem se stala depozice dusíku. Do lesů v severním mírném a boreálním pásmu byl zaznamenáván roční vstup dusíku dosahující 20 kg.ha⁻¹.rok⁻¹, v některých oblastech Velké Británie šlo o vstup až 120 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ (JARVIS, LINDER 2007). Depozice nitrátů a amonných iontů nezpůsobuje pouze acidifikaci. Vyšší dostupnost dusíku v lesních ekosystémech střední Evropy může zvýšit přírůst a produkci (CANDEL et al. 1998), ale také způsobit nevyváženost výživy ve vztahu k dalším živinám – zejména k fosfo-

ru a hořčíku (HÜTTL 1990; STEFAN, HERMANN 1996; LINDER 1995; HÜTTL, SCHAAF 1997; LUYSSAERT et al. 2004; MELLERT et al. 2004; DRENOWSKY, RICHARDS 2004; EWALD 2005). Nevyvážená výživa lesních porostů, často v synergií se suchem a teplotními výkyvy, se může stát hlavním limitujícím faktorem pro růst jehličnatých porostů v boreálním a mírném pásmu (JARVIS, LINDER 2000) a vede ke zhoršení jejich zdravotního stavu (PRIETZEL et al. 2008). Výrazný nedostatek živin v půdě a snížená dostupnost bazických prvků, zejména hořčíku, měly za následek např. žloutnutí smrkových porostů, jež bylo pozorováno v horských oblastech střední Evropy (HÜTTL, SCHNEIDER 1998; LOMSKÝ, ŠRÁMEK 2004; SIEFERMANN-HARMS et al. 2004).

Pro včasnou diagnostiku a jednoznačné stanovení problému ve výživě porostů jsou rozhodující výsledky listových analýz (BONNEAU et al. 1990; HÜTTL 1989; SCHULZE et al. 2005). Soubory výsledků listových analýz (MATERNA 2003; LOMSKÝ 2006) z různých přírodních lesních oblastí ČR prokazují, že ubývá porostů smrku a borovice s identifikovaným nedostatkem dusíku a naopak narůstá počet případů s nedostatečnou výživou hořčíkem, fosforem a částečně také vápníkem či draslíkem.

Jizerské hory jsou spolu s Krušnými horami nejvýraznější imisní oblasti v České republice. První imisní škody zde byly pozorovány na přelomu 50. a 60. let dvacátého století. Vzestup imisních škod nastal koncem 70. let, a to v souvislosti s teplotními výkyvy. Rozsáhlé imisní holiny, které navazovaly na čerstvě zalesněné lokality po škodách větrem z 60. let, byly zalesňovány především smrkem ztepilým (*Picea abies* (L.) Karst.). Tato situace dala vzniknout rozsáhlým stejnověkým porostům v hřebenové oblasti Jizerských hor. I v období snižování imisní zátěže byl v imisních oblastech podrobněji studován vývoj těchto porostů zejména s přihlédnutím k rizikům představovaným narušenou výživou na dlouhodobě acidifikovaných lesních půdách, a to i s ohledem na současnou úroveň depoziční zátěže. Ještě v roce 2004 se potenciální vstup kyselé depozice v Jizerských horách podle HADAŠE (2006) pohyboval v rozmezí od 1080 do 4592 mol H⁺.ha⁻¹.rok⁻¹ a velmi

výrazně přesahoval hranici kritické dávky. Předkládaný příspěvek se věnuje zhodnocení změn zdravotního stavu, růstu a výživy smrkových porostů, které byly vyvolány změnou imisní zátěže smrkových porostů v Jizerských horách v letech 1993–2010.

MATERIÁL A METODY

Výzkumné plochy

Výzkumné plochy v Jizerských horách byly založeny v roce 1991. Plochy byly vybrány na náhorní rovině v 19 komplexech mladých smrkových porostů do 30 let, na každé ploše bylo očíslováno 70 stromů. Lokalizaci ploch a další jejich charakteristiky přináší tab. 1.

Hodnocení zdravotního stavu

Od roku 1993 se každoročně na plochách provádí hodnocení zdravotního stavu smrkových porostů. Zdravotní stav je hodnocen po konci vegetačního období v úhlopříčném transektu na minimálně 40 očíslovaných stromech. Hodnocení vychází z metodiky ICP Forests (UN-ECE 2010) a z její modifikace pro mladé smrkové porosty (LOMSKÝ, UHLÍŘOVÁ 1993). Předmětem hodnocení je ztráta olistění – defoliace, kterou pro jednotlivé stromy určují zaškolení hodnotitelé v 5% stupních.

Měření výškového přírůstu

Roční výškový přírůst – délka terminálu – je měřen na souboru 20 stromů, které jsou zahrnuty do hodnocení defoliace korun. Měření se provádí s pomocí výškoměrné tyče Sokkia a u vyšších stromů s pomocí výškoměru Vertex. Hodnoty jsou odečítány s přesností na 1 cm u výškoměrné tyče Sokkia, resp. s přesností 10 cm u výškoměru Vertex.

Tab. 1.

Výzkumné plochy v Jizerských horách
Research plots in the Jizera Mts.

| Plocha/Plot | Zkratka/ Acronym | Věk v roce 2006/ Age in 2006 | Nadmořská výška/Altitude [m] | Půdní typ/ Soil type | Expozice/ Exposure | Zeměpisná šířka/Latitude | Zeměpisná délka/ Longitude |
|----------------|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Bílá kuchyně | BIKU | 34 | 810 | GLo | E | 50°50'52" | 15°09'05" |
| Hřebínek | HREB | 31 | 850 | GLo | NW | 50°50'28" | 15°09'48" |
| Krásná Máří | KRMA | 39 | 920 | KPm | N | 50°51'02" | 15°10'51" |
| Tetřeví boudy | TEBO | 34 | 910 | KPm | N | 50°50'45" | 15°11'54" |
| Polední kameny | POKA | 35 | 950 | KPg | NW | 50°50'37" | 15°13'26" |
| Pavlova cesta | PACE | 32 | 1050 | PZ | SE | 50°50'48" | 15°15'26" |
| Jizera | JIZE | 39 | 1060 | PZ | N | 50°50'07" | 15°15'19" |
| Heliport | HELI | 38 | 910 | PZ | SE | 50°49'36" | 15°16'31" |
| Hraniční cesta | HRCE | 30 | 890 | KPm | W | 50°50'00" | 15°17'16" |
| Smrčí cesta | SMCE | 33 | 875 | PZ | NE | 50°51'24" | 15°19'20" |
| Zemník | ZEMN | 34 | 880 | PZ | NE | 50°52'02" | 15°17'13" |
| Prameny Jizery | PRJI | 36 | 880 | PZ | S | 50°52'38" | 15°17'05" |
| Nová zelená | NOZE | 35 | 920 | OR | N | 50°51'36" | 15°17'30" |
| Pod Jelenkou | JELE | 32 | 880 | PZ | NW | 50°50'59" | 15°19'30" |
| Mráčkova bouda | MRBO | 24 | 850 | OR | SE | 50°50'40" | 15°21'02" |
| Lasičí cesta | LACE | 31 | 920 | PZ | SW | 50°49'44" | 15°20'43" |
| Bukovec | BUKO | 29 | 900 | PZ | S | 50°49'11" | 15°21'41" |
| Kobyla | KOBY | 42 | 915 | KPm | S | 50°47'49" | 15°20'59" |
| Polubný | POLU | 32 | 820 | KPm | SE | 50°46'47" | 15°20'53" |

Odběry asimilačních orgánů a půdních vzorků

Asimilační orgány pro stanovení úrovně minerální výživy a imisní zátěže jsou odebírány každoročně na podzim souběžně s hodnocením zdravotního stavu. Z vrcholové části (3.–6. přeslen) 10 stromů byly odebrány vzorky jehličí. Pro každou plochu byly následně z deseti stromů připraveny směsné vzorky pro 1. a 2. ročník jehličí.

Půdní vzorky byly odebrány v letech 1995, 1999, 2003 a 2009. Odběr byl proveden úhlopříčně ze tří míst pokusné plochy. Pro každou plochu byl vytvořen směsný vzorek vrstvy nadložního humusu (horizont FH) a minerální vrstvy půdy do hloubky 30 cm.

Analýza jehličí a půdy

Příprava a analýza vzorků asimilačních orgánů, nadložního humusu a minerální půdy probíhala dle standardních metodik (UN-ECE 2010). Po rozkladu vzorků v mikrovlnné peci byly stanoveny obsahy K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Zn, P v jehličí na ICP-OES a obsahy C, N a S na elementárním analyzátoru. V půdních vzorcích bylo stanoveno aktivní pH(H₂O) a výměnné pH(KCl). Obsah dusíku byl stanoven spektrometricky po kjeldahlizaci. Obsah oxidovatelného uhlíku C_{ox} byl stanoven jodo-metrickou titrací po oxidaci s použitím chromsírové směsi. Obsah výměnných prvků byl stanoven ve výluhu chloridem amonným na AAS. Přístupný fosfor byl analyzován spektrofotometricky na analyzátoru (CFA) Skalar po rozpuštění ve směsi HCl+H₂SO₄.

Statistické zpracování

Pro statistické hodnocení dat byly použity programy Statistica CZ (StatSoft, USA) and QC Expert (Trilobyte, CZ). Po provedení průzkumové analýzy dat (základní statistika, normalita, závislost, ho-

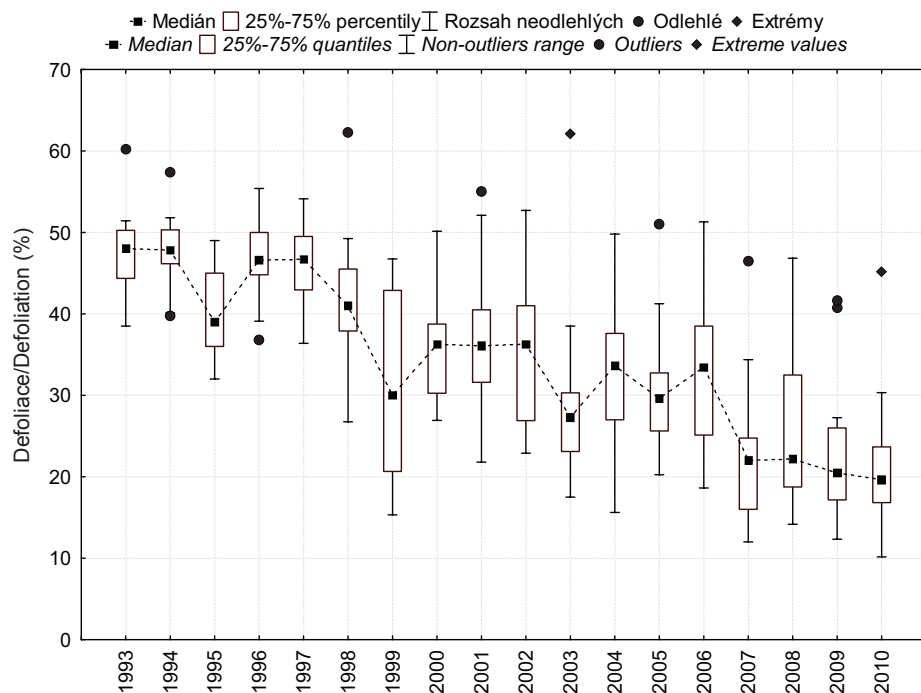
mogenita dat apod.) byly použity vícerozměrné statistické metody (MELOUN, MILITKÝ 2006) pro vyhodnocení vztahů mezi sledovanými parametry.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Zdravotní stav porostů

Defoliace korun mladých smrkových porostů dosahovala počátkem 90. let (1993) 47 % (obr. 1). Po mírném zlepšení stavu korun v roce 1995 došlo v roce 1996 k opětovnému navýšení defoliace na 46,6 %. Tento průběh je charakteristický i pro další imisní oblasti. V zimě 1995/96 došlo k poslednímu akutnímu velkoplošnému imisnímu poškození smrkových porostů na hraničních pohořích s Německem a Polskem (LOMSKÝ et al. 2002; KATEB et al. 2004). Příčinou bylo přímé působení vysokých koncentrací oxidu siřičitého, které se v hřebcové oblasti zvyšovaly působením dlouhodobé inverzní situace; souběžně došlo k poklesu teplot a tvorbě námrazy. V následných letech defoliace korun smrkových porostů v Jizerských horách klesala až na průměrnou hodnotu 31,3 % (1999). V letech 2000–2006 se defoliace porostů pohybovala v rozmezí 29–37 %. V roce 2007 byl na několika plochách proveden výchovný zásah zaměřený na odumřelé a silně defoliované stromy. Od tohoto roku defoliace korun nepřekročila 26 % a v roce 2010 byla 21,3 %. Zjištěné hodnoty v posledních letech odpovídají průměrné defoliaci smrku v České republice i v ostatních státech střední a západní Evropy (BOHÁČOVÁ et al. 2009, 2010; UN-ECE 2008).

Statisticky významně se odlišují hodnoty defoliace zjištěné v letech 1993, 1994 a 1996 ve srovnání s lety 1999, 2000, 2002–2006, a také rok 1997 při porovnání s obdobím 2003–2010. Pomocí metod shlukové



Obr. 1.

Defoliace smrkových ploch v Jizerských horách v období 1993–2010

Fig. 1.

Defoliation in Norway spruce stands in the Jizera Mts. in the period of 1993–2010

analýzy, a to jak metodou hierarchického shlukování, tak i metodou k-průměrů, byly plochy rozděleny do dvou shluků (obr. 2). V prvním shluku se nacházejí plochy s nižší defoliací. Do druhého shluku patří smrkové porosty s výrazně horším zdravotním stavem, rostoucí na podmáčených lokalitách (Bílá kuchyně, Bukovec, Prameny Jizery, Hraniční cesta a Polední kameny) či na extrémních stanovištích (Heliport, Jizera, Pavlova cesta, Mráčkova bouda a Zemník). Vývoj defoliace korun je v obou shlucích podobný, rozdíl průměrné defoliace kolísá od 2 do 18 %.

Výškový přírůst je na sledovaných smrkových plochách relativně vyrovnaný (obr. 3). V roce 1996 dosahoval úrovně 45,5 cm. Po zimě 1995/96 došlo k jeho poklesu až na hodnotu 43,6 cm (1997). Od roku 1998 až do roku 2002 byly výškové přírůsty vyrovnané a pohybovaly se v rozmezí od 56 do 61,1 cm. Teplý a suchý průběh roku 2003 se odrazil na podzim ve snížení výškového přírůstu na 48,5 cm a v následujícím roce na 47,8 cm. V roce 2005 již opět přesahoval hranici 50 cm (51,3 cm). V následujících čtyřech letech mírně klesal až na 45,2 cm a v roce 2010 překročil hranici 60 cm. Meziroční srovnání hodnot výškových přírůstů nepřináší žádné statisticky významné rozdíly. Současně s poškozením korun se nám potvrdila vysoká regenerační schopnost mladých smrkových porostů. Vliv působení stanoviště na přírůst smrkových porostů potvrzují také výsledky měření sumy výškového přírůstu v období 1993–2010 (obr. 4). Plochy s nízkou defoliací s výjimkou porostu Smrčí cesta dosahují vždy vyššího kumulativního přírůstu než plochy na nepříznivých stanovištích. Korelační analýza prokázala negativní ovlivnění výškového přírůstu narůstající defoliací korun (obr. 5).

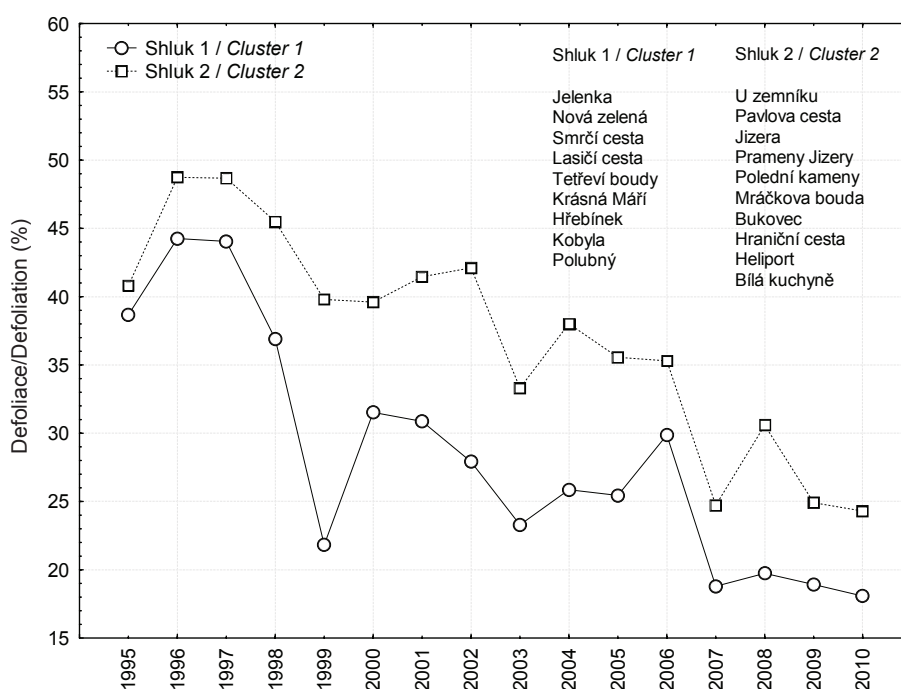
Minerální živiny a zátěžové prvky v jehličí a v půdě

Obsahy minerálních živin a zátěžových prvků v jehličí jsou uvedeny na obr. 6, obsahy živin v humusu a minerální půdě na obr. 7 a 8.

Průměrné obsahy dusíku v 1. ročníku jehličí se během hodnoceného období pohybovaly v rozmezí od 12,3 mg.g⁻¹ (rok 1993) do 17,9 mg.g⁻¹ (rok 1999). Zatímco do roku 1999 jsou průměrné obsahy N značně rozkolísané, od roku 2000 lze pozorovat vyrovnaný nárůst. Výrazné kolísání koncentrací dusíku v jehličí v období 1995–1999 bylo vyvoláno s největší pravděpodobností stále trvajícím imisním zatížením SO₂ a zvýšenou citlivostí na průběh meteorologických faktorů v jednotlivých letech. Nedostatečný obsah dusíku v jehličí je v ČR charakterizován hranicí pod 13,0 mg.g⁻¹ (MATERNA 1963). Deficit dusíku byl v Jizerských horách zjištěn pouze v letech 1993 a 1996. V dalším období se vyskytl pouze ojediněle, většinou na plochách ovlivněných vodou. Postupné navýšování obsahu N v jehličí je zřejmě důsledek stále vysoké depozice dusíku, která se v severních pohořích pohybuje v rozmezí 10–47 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ (HADAŠ 2006; RABEN, ANDRAE 1999; SLODIČÁK et al. 2009). Průměrné obsahy dusíku se od roku 2006 pohybuji v oblasti velmi dobré výživy dusíkem (15–20 mg.g⁻¹). Tento stav lze z hlediska k tomu, že jde o horské polohy, považovat za nepřírozený. Zlepšení výživy dusíkem může nepříznivě ovlivňovat relativní dostupnost dalších významných biogenních prvků, zejména fosforu a hořčíku (MELLERT et al. 2004).

V roce 1995 byla hodnota mediánu celkového obsahu dusíku v nadložním humusu 1,61 % a v minerální půdě 0,19 %. V nadložním humusu lze vysledovat mírné navýšení koncentrací dusíku – hodnoty z odběrů v letech 2003 a 2009 jsou signifikantně vyšší než v roce 1995. V minerální půdě nebyla tato tendence k nárůstu N prokázána. V roce 2003 byly sice hodnoty N_{tot} významně vyšší než v předchozích odběrech (medián 0,30 %), v roce 2009 ale opět poklesly na 0,19 %, což se blíží k hodnotám z let devadesátých.

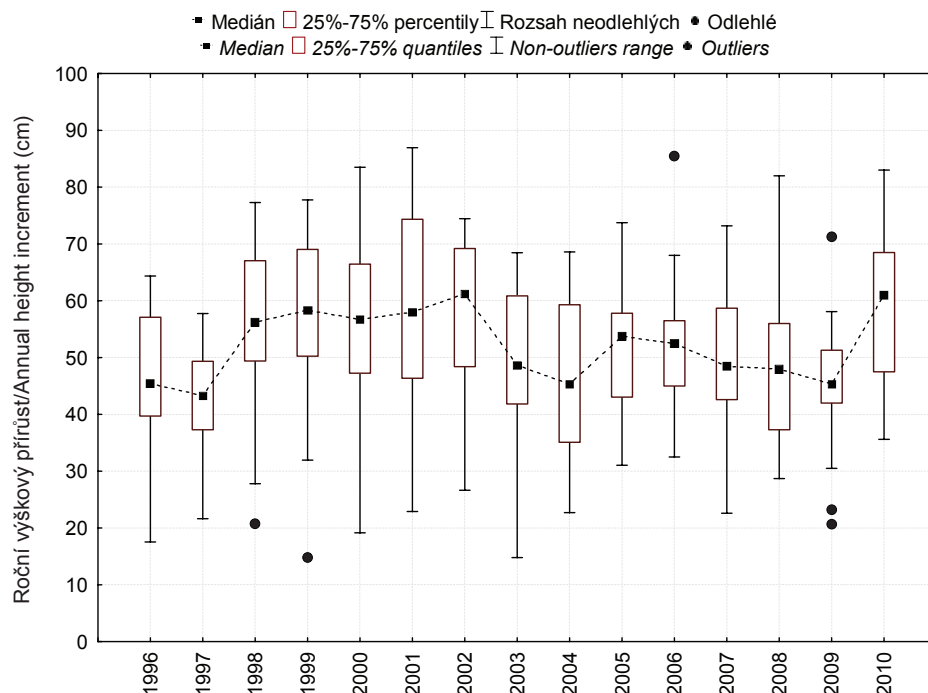
Průměrné obsahy fosforu v 1. ročníku jehličí se během hodnoceného období pohybovaly v rozmezí od 1,00 do 1,75 mg.g⁻¹; ve 2. ročníku jehličí byly nižší (obr. 6). Od roku 1995 dochází k postupnému poklesu obsahu fosforu. Nepříznivá je zejména situace druhého ročníku



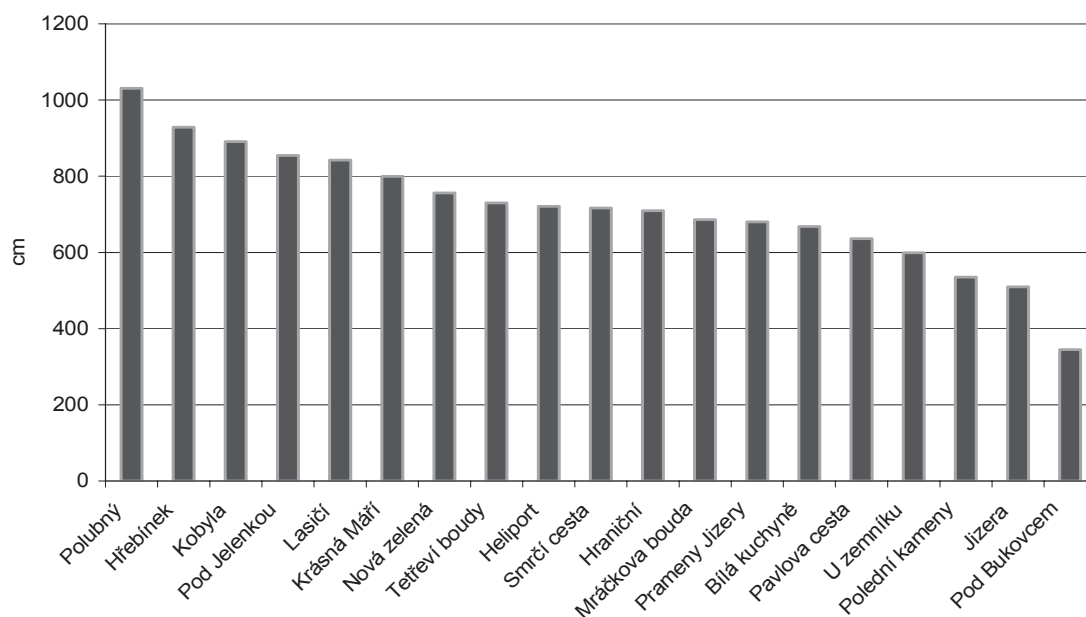
Obr. 2.
Shluková analýza defoliace korun metodou k-průměrů
Fig. 2.
Cluster analysis of plot defoliation using the k-means method

jehličí, kde se průměrné obsahy fosforu od roku 2001 pohybují pod hranici nedostatku (12 mg.g⁻¹). Deficit fosforu v 1. ročníku jehličí se projevil v roce 1993 na 13 plochách a v dalším období pak na 2–9 plochách. U 2. ročníku jehličí je situace výrazně horší, v roce 1993 byl nedostatek fosforu zjištěn na 17 plochách, v roce 2005 byl již stanoven

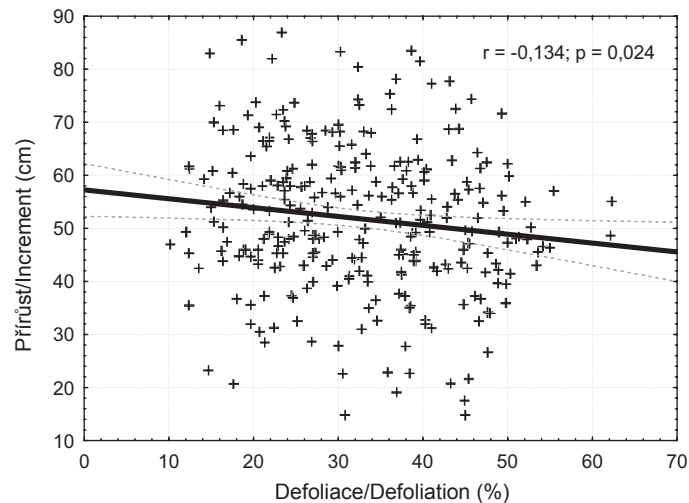
na 19 plochách. Stanovené obsahy fosforu v jehličí v Jizerských horách jsou nižší než např. v Krušných horách, i když kyselost půd je v obou pohořích srovnatelná (LOMSKÝ 2006). Problematické obsahy fosforu však nejsou pouze specifikem Jizerských hor a objevují se i v dalších oblastech bez přímé souvislosti s emisní zátěží či vlivem vápnění.



Obr. 3.
 Výškový přírůst smrkových ploch v Jizerských horách v období 1996–2010
Fig. 3.
 Height increment on all plots in the Jizera Mts. in the period of 1996–2010



Obr. 4.
 Suma výškového přírůstu u sledovaných mlazín v období 1996–2010
Fig. 4.
 Sum of height increment of evaluated spruce plots in the period of 1996–2010



Obr. 5.

Korelační analýza závislosti výškového přírůstu na defoliaci korun sledovaných smrkových porostů

Fig. 5.

Correlation analysis of height increment and crown defoliation of Norway spruce stands

Přístupnost fosforu je významně omežována pokračujícím vstupem kyselých depozic, která udržuje výraznou aciditu půd a snižuje dostupnost fosforu pro smrk (HEINSDORF, BRANSE 2002; PRIETZEL et al. 2008), a to vznikem fosforečnanů železa a hliníku, které váží fosfor do nerozpustných nebo špatně rozpustných sloučenin (LARCHER 1995). Lesní půdy na sledovaných plochách lze charakterizovat jako kyselé, hodnoty mediánu výměnného pH se pohybují v rozmezí 3,33 a 3,54 v nadložním humusovém horizontu a mezi 3,36 a 3,62 v minerálním horizontu. Statisticky významně nejnižší pH v KCl bylo v obou horizontech v roce 1999 ve srovnání s ostatními odběry (obr. 7, 8). Změny však můžeme také hodnotit jako přirozenou variabilitu vzhledem k minimálním absolutním rozdílům.

V nadložním humusu se obsah přístupného fosforu pohyboval v rozmezí od 5 do 68 mg.kg⁻¹, v minerální půdě od 5 do 63 mg.kg⁻¹ a vykazuje klesající trend. Hodnoty mediánu v nadložním humusu klesly z 34 mg.kg⁻¹ v roce 1995 na 16 mg.kg⁻¹ v roce 2009. V minerální půdě byly obsahy fosforu po celou dobu sledování pod hranicí nedostatku (20 mg.kg⁻¹) a klesaly z 11 mg.kg⁻¹ v roce 1995 na 3 mg.kg⁻¹ v roce 2009. Hodnoty stanovené v roce 2009 jsou statisticky významně nižší než v předcházejících letech v obou sledovaných horizontech. Tyto výsledky jsou v souladu s výsledky foliární analýzy, ve kterých obsah fosforu klesl na úroveň nedostatečné výživy zvláště ve druhých ročních jehličích.

Také obsahy draslíku jsou ve 2. ročníku jehličí nižší ve srovnání s nejmladšími jehlicemi. Ve sledovaném období se pohybovaly v rozmezí od 4,74 do 7,76 mg.g⁻¹ a ležely v oblasti indikující dobrou úroveň výživy. Výsledky jsou srovnatelné s plošnými průzkumy výživy v ČR publikovanými MATERNOU (2003). Od roku 1994 je patrný klesající trend obsahu K v jehličích (obr. 6). Roční spotřeba draslíku smrkového porostu se pohybuje v rozmezí 4–12 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ (FINÉR 1989), podkorunové depozice draslíku dosahují v horských oblastech vyšších hodnot, konkrétně 11,3–27,6 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ (BOHÁČOVÁ et al. 2009), proto výživa draslíkem patří mezi méně problémové.

Obsahy výměnného draslíku se v nadložním humusu postupně zvyšují (obr. 7). Nejnižší obsahy byly zjištěny v roce 1995 (medián 142 mg.kg⁻¹). Hodnoty mediánů v letech 2003 (365 mg.kg⁻¹) a 2009 (374 mg.kg⁻¹) byly statisticky významně vyšší než v předcházejících letech. V minerální půdě byla hodnota mediánu v roce 2003 (54,4 mg.kg⁻¹) statisticky významně vyšší než v ostatních letech. Přes-

to byly v tomto roce 4 plochy pod hranicí nedostatku (30 mg.kg⁻¹). V dalších letech, kdy byla půda odebírána, byly počty ploch s nedostatkem draslíku výrazně vyšší, a to 11 (2009), 13 (1999) a 14 (1995).

Průměrné obsahy vápníku stoupají s věkem jehlic. Obsah vápníku v 1. ročníku jehličí se dlouhodobě pohybuje v rozmezí od 2,71 do 5,05 mg.g⁻¹ a obsah ve 2. ročníku v rozmezí od 4,16 do 7,70 mg.g⁻¹. Všechny zjištěné obsahy překročily hranici deficitu 1,50 mg.g⁻¹; tendence k poklesu je zřetelnější u druhého ročníku jehličí (obr. 6).

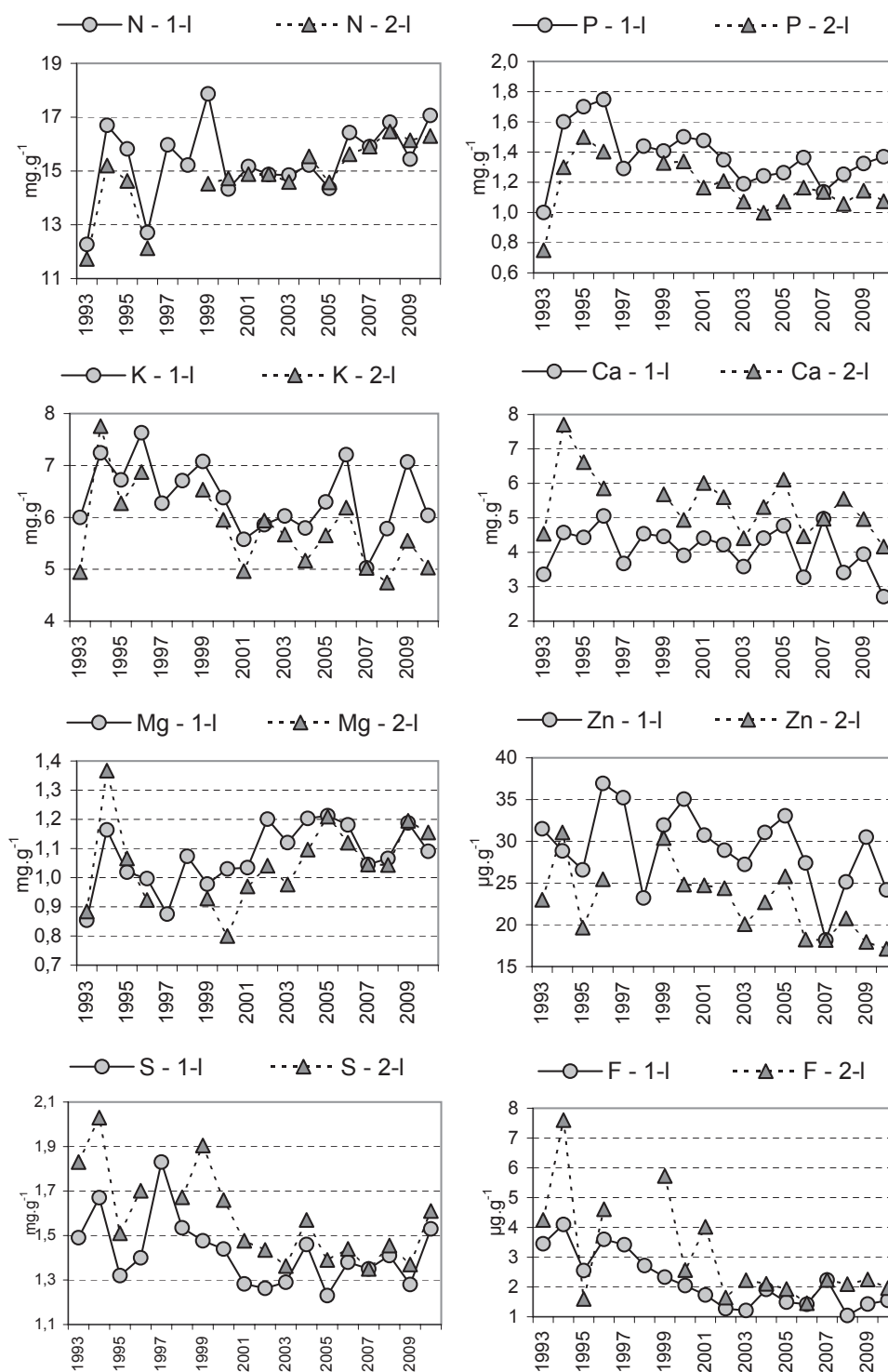
V Jizerských horách bylo v 90. letech prováděno na necelých 9000 ha provozní vápnění dolomitickým vápencem, které mělo podpořit revitalizaci lesních ekosystémů. Na sledovaných plochách provedené vápnění výrazně zvýšilo obsah vápníku v nadložním humusu než v minerální půdě, kde lze stále najít nízké obsahy nepřesahující 150 mg.kg⁻¹. V Jizerských horách byl nedostatek vápníku nalezen v obou ročních jehličích pouze na plochách, které nebyly v minulosti vápněny (plochy Jizera, Zemník). Na zbývajících plochách byl obsah vápníku v jehličích dostatečný. Poklesy obsahu vápníku v jehličích korespondovaly se suchými lety 1997 a 2003. Zvýšení obsahu přístupného vápníku v nadložním humusu bylo zřejmé během všech odběrů. Hodnota mediánu obsahu vápníku vzrostla z 339 mg.kg⁻¹ v roce 1995 do 749 mg.kg⁻¹ v roce 2009. Hodnoty stanovené v letech 2003 a 2009 jsou statisticky významně vyšší než hodnoty v předcházejících letech. Situace v minerálních horizontech je výrazně horší. Prakticky na všech plochách jsou obsahy vápníku pod hranicí jeho nedostatku (140 mg.kg⁻¹). Hodnoty mediánů se pohybují v prvních třech odběrech kolem 60 mg.kg⁻¹ a významně klesají na hodnotu 27 mg.kg⁻¹, stanovenou v roce 2009.

Obsah hořčíku v 1. ročníku jehličí od roku 1994 klesal z průměrné hodnoty 1,12 na 0,85 mg.g⁻¹, stanovených v roce 1997. Od roku 1998 dochází k mírnému nárůstu hořčíku v 1. ročníku jehličí a od roku 2004 leží průměrné obsahy v rozmezí 1,00–1,20 mg.g⁻¹. Průměrné obsahy hořčíku ve 2. ročníku jehličí se během hodnocených let pohybovaly v rozmezí 0,80–1,38 mg.g⁻¹ (obr. 6). Na jaře v roce 1999 se objevilo v západním Krušnohoří žloutnutí smrkových porostů, symptomaticky velmi blízké „novodobému poškození lesů“ v západní Evropě (HÜTTL 1989; KAUPENJOHANN 1989; SCHIERL, KREUTZER 1989), které se později rozšířilo i do dalších horských oblastí včetně Jizerských hor (LOMSKÝ, ŠRÁMEK 2004). Tento typ poškození je výsledkem nevyváženého

příjmu dusíku a hořčíku (GEBAUER, SCHULZE 1988), kdy spouštěcím faktorem může být také klimatický stres (sucho) (DAMBRINE et al. 1993). I přesto, že roční deponice hořčíku se v našich horských oblastech pohybuje v rozmezí od 2 do 7,5 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ (BOHÁČOVÁ et al. 2004) a částečně saturuje roční spotřebu mladého smrkového porostu (3,3–29,8 kg.ha⁻¹.rok⁻¹) (HÜTTL, SCHAAF 1997), byl v Jizerských ho-

rách zjištěn nedostatek hořčíku v 1. ročníku jehličí na nevápnených plochách Jizera a Zemník.

Vápnění prováděné v 90. letech výrazněji zvýšilo obsahy výměnného hořčíku v nadložní humusové vrstvě. V roce 1995 byl medián obsahu výměnného hořčíku 115 mg.kg⁻¹, v roce 1999 vzrostl na 196 mg.kg⁻¹ a při posledním půdním průzkumu v roce 2009 na 312 mg.kg⁻¹. Stati-

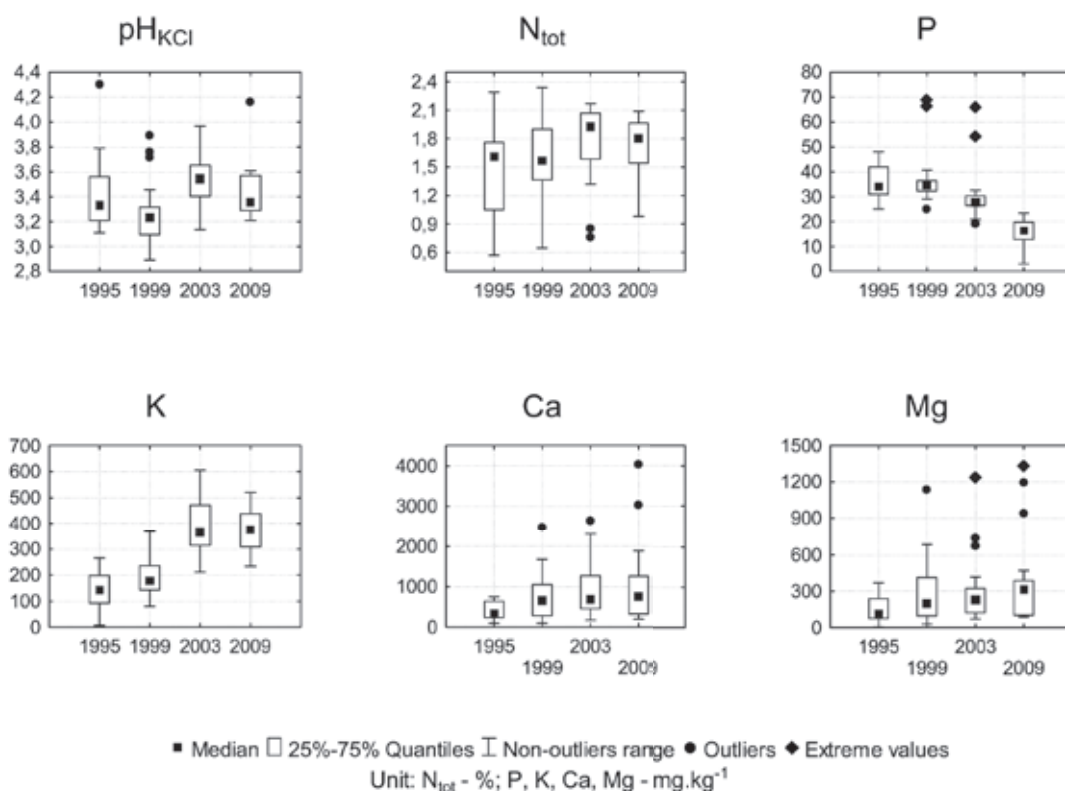


Obr. 6.

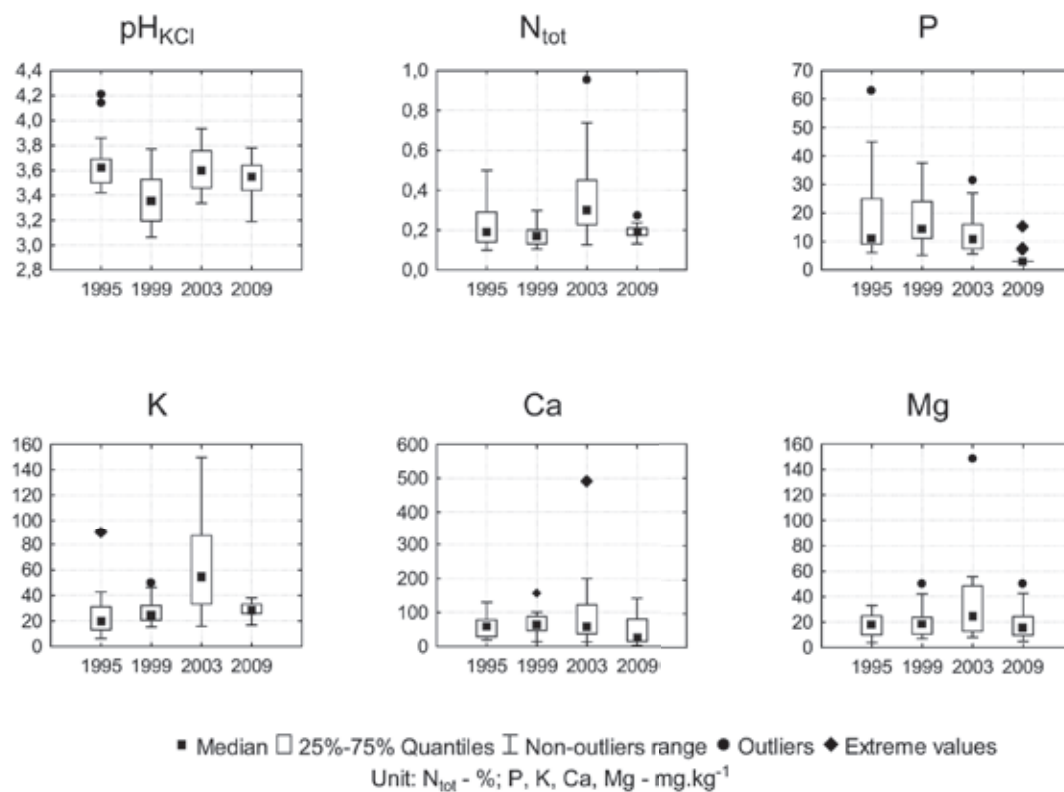
Obsahy živin a zátěžových prvků jednoletém (1-l) a ve dvouletém (2-l) jehličí v letech 1993–2010

Fig. 6.

Contents of nutrients and stress elements in the current (1-l) and one-year-old needles (2-l) in the period of 1993–2010



Obr. 7.
 Hodnoty pH a koncentrace některých prvků v nadložním humusu
Fig. 7.
 The pH values and concentrations of some elements in the surface humus



Obr. 8.
 Hodnoty pH a koncentrace některých prvků v minerální půdě
Fig. 8.
 The pH values and concentrations of elements in the mineral soil

stický významný rozdíl byl zjištěn mezi odběrem provedeným v roce 1995 a dalšími provedenými odběry. V minerální půdě jsou obsahy výměnného hořčíku obecně velmi nízké, často pod hranici nedostatku (20 mg.kg^{-1}). V roce 2003 byla hodnota mediánu obsahu hořčíku ($24,8 \text{ mg.kg}^{-1}$) statisticky významně vyšší než v dalších odběrových letech. Nejnižší průměrný obsah výměnného hořčíku byl stanoven v roce 2009 ($15,3 \text{ mg.kg}^{-1}$). Na základě získaných výsledků se potvrzuje, že meliorační zásahy prováděné v Jizerských horách v minulém období doznívají, začínají se projevovat problémy s příjmem fosforu a mohou přetrvávat problémy ve výživě vápníkem a hořčíkem, ovlivňující růst a zdravotní stav smrkových porostů.

Žloutnutí smrkových porostů je kromě nevyváženého příjmu hořčíku a dusíku charakterizováno také nedostatkem zinku v jehličí (KANDLER et al. 1990; SCHALL 1991). Spojitost mezi žloutnutím a obsahem zinku v jehličí potvrdily i naše výsledky. Průměrný obsah zinku kolísala a v 1. ročníku jehličí se pohyboval v rozsahu od $18,2$ do $36,9 \mu\text{g.g}^{-1}$, ve druhém ročníku jehličí pak od $17,1$ do $31,1 \mu\text{g.g}^{-1}$. Nedostatek zinku v 1. ročníku jehličí se nejvýrazněji projevil v roce 2007. Z pohledu 2. ročníku jehličí byl nejhorší rok 1995 a roky 2009, 2010. Z dlouhodobého pohledu obsahy zinku ve druhém ročníku mírně klesají (obr. 6).

Přímé působení imisí (oxid siřičitý a fluor) je možné identifikovat podle obsahu síry a fluoru v jehličí (MATERNA 1981; AUGUSTIN et al. 2005; ANDREASSEN et al. 2007). Průměrné obsahy síry v 1. ročníku jehličí se v letech 1993, 1994, 1997 a 1998 pohybovaly v rozmezí od $1,49$ do $1,83 \text{ mg.g}^{-1}$ a odpovídaly výraznější zátěži smrkových porostů. Po redukci emisí síry došlo od roku 1998 k postupnému poklesu obsahu síry v jehličí až na $1,23 \text{ mg.g}^{-1}$ v roce 2005, stále však šlo o střední zátěž srovnatelnou např. s bavorským pohořím Smrčiny (Fichtelgebirge) na konci 80. let. V posledních třech letech došlo k navýšení koncentrací síry až na $1,53 \text{ mg.g}^{-1}$ stanovených v roce 2010. Průměrné obsahy síry ve 2. ročníku jehličí jsou výrazně vyšší a kopírují svým průběhem hodnoty 1. ročníku jehličí (obr. 6).

Obsahy fluoru v jehličí v Jizerských horách vždy souvisely se spalováním hnědého uhlí ve velkých přeshraničních zdrojích znečištění. V roce 1997 v Jizerských horách dosahovala depozice fluoru hodnoty $2,47 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ (SLODIČÁK et al. 2005), v průběhu času klesala a v roce 2006 dosahovala hodnoty $0,19 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ (BOHÁČOVÁ et al. 2009). Průměrné obsahy fluoru v 1. ročníku jehličí měly během hodnoceného období klesající trend. V roce 1994 dosahovaly průměrné obsahy fluoru $4,1 \mu\text{g.g}^{-1}$, v roce 1996 pak úrovně $3,6 \mu\text{g.g}^{-1}$. V následném období došlo k poklesu obsahu fluoru až na hodnotu $1,42 \mu\text{g.g}^{-1}$ (rok 2006) a v roce 2008 na $1,35 \mu\text{g.g}^{-1}$. Ve 2. ročníku jehličí obsahy fluoru překročily několikrát hranici $5 \mu\text{g.g}^{-1}$, charakterizující vysokou zátěž tímto prvkem (POLLE et al. 1992). V roce 1994 dosáhly průměrné hodnoty $7,6 \mu\text{g.g}^{-1}$, v roce 1999 pak hodnoty $5,7 \mu\text{g.g}^{-1}$. V následujícím období obsahy fluoru ve 2. ročníku jehličí klesaly a v posledních třech letech se pohybovaly kolem $2,00 \mu\text{g.g}^{-1}$ (obr. 6).

Vztah defoliace a obsahu živin v jehličí

Výsledky sledování série ploch prokázaly, že defoliaci korun ovlivňuje také nedostatek živin (např. hořčíku), projevující se žloutnutím až hnědnutím jehlic a mající přímou nebo nepřímou souvislost s kyselou depozicí (HÜTTL, SCHNEIDER 1998; SCHULZE et al. 1989, 2005; LEBOURGEOIS 2007). Vztah mezi defoliací korun a koncentrací prvků v jejich asimilačním aparátu byl vyhodnocován pomocí korelace mezi defoliací a vybranými prvky v jednoletém jehličí smrků (obr. 9). Do této analýzy vstupovalo celkem 226 platných případů z období (1995–2010). Silná signifikantní závislost defoliace korun a obsahu prvků byla zjištěna pro dusík, draslík, hořčík, síru a fluor. U obsahu zátěžových prvků (síra, fluor) a draslíku byla stanovena kladná závislost s defoliací korun, u obsahů dusíku a hořčíku byla tato závislost

záporná. Z výše uvedených závislostí je překvapivá zejména pozitivní korelace defoliace s obsahy draslíku v jehličí. Tento fakt lze pravděpodobně vysvětlit jako projev antagonismu draslíku a hořčíku v situaci, kdy jsou obsahy Mg v půdě kriticky nedostatečné. V žádném případě nejde o limitující nadbytek draslíku v lesních porostech, spíše o projev celkově nevyvážené výživy.

ZÁVĚR

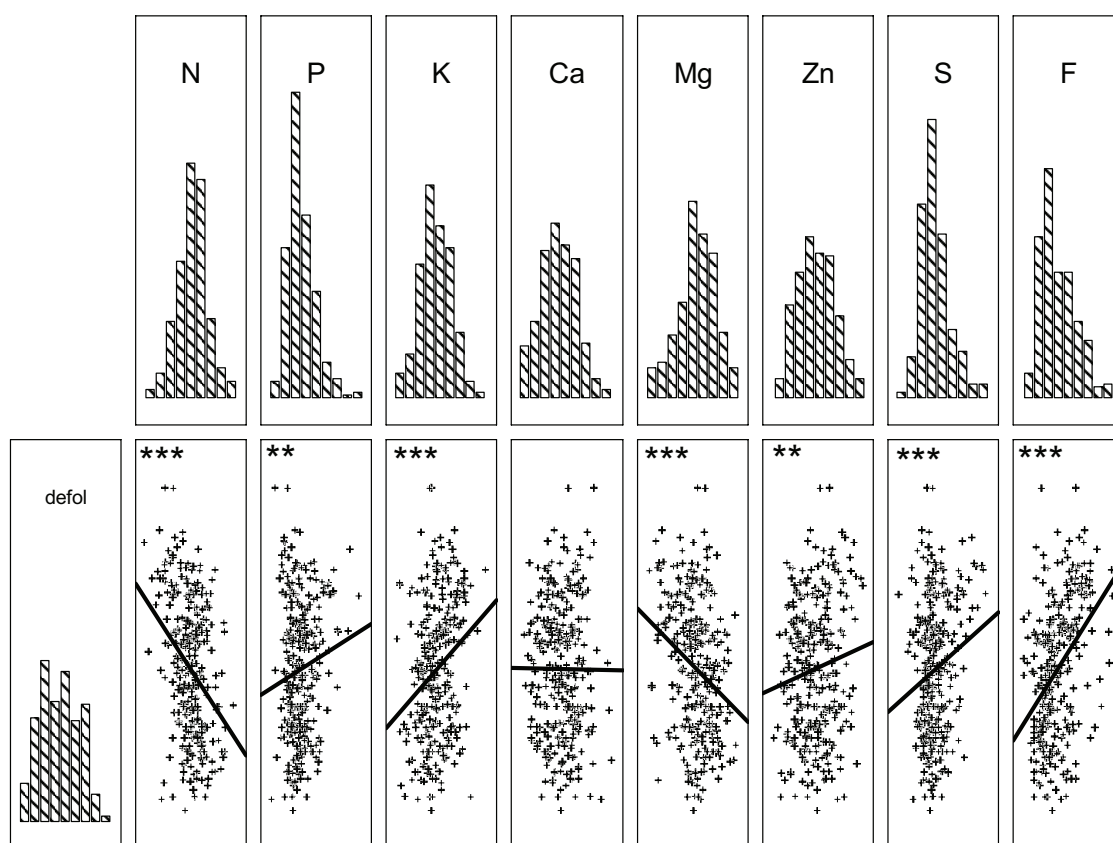
V rámci osmnáctiletého sledování mladých smrkových porostů v oblasti Jizerských hor je možné konstatovat, že zdravotní stav mladých smrkových porostů se po zimě 1995/96, kdy došlo k poslednímu přímému imisnímu vlivu v kombinaci s dalšími stresovými faktory, výrazně zlepšil a hodnoty defoliace korun jsou srovnatelné s ostatním územím ČR. Byl prokázán dlouhodobý klesající trend defoliace korun, byla zjištěna signifikantní závislost defoliace korun a výškového přírůstu. Dále byla potvrzena signifikantní závislost defoliace korun na koncentraci prvků v jehličí – u obsahu zátěžových prvků (síra, fluor) a draslíku byla stanovena kladná závislost s defoliací korun, u obsahů dusíku a hořčíku byla stanovena záporná závislost. Na základě foliární analýzy byl prokázán výrazný pokles imisní zátěže, současně byl indikován problém s nedostatečným příjmem fosforu. Provedené půdní analýzy potvrdily fakt, že půdní prostředí je kyselé a množství přístupného fosforu, výměnného hořčíku a vápníku se nachází v oblasti výrazného nedostatku v minerální půdě. Přetrvávající problém ve výživě může v budoucím období negativně ovlivnit růst a vývoj zdravotního stavu sledovaných smrkových porostů.

Poděkování:

Článek vznikl v rámci řešení dlouhodobého výzkumného záměru Ministerstva zemědělství ČR MZE0002070203 "Stabilizace funkcí lesa v antropogenně narušených a měnících se podmínkách prostředí" a projektu NAZV QI112A168 „Stav lesních půd jako určujícího vývoje zdravotního stavu, biodiverzity a naplňování produkčních i mimoprodukčních funkcí lesů“.

LITERATURA

- ANDREASSEN K., SOLBERG S., TVEITO O.E., LYSTAD S.L. 2007. Some effects of climate on Norway spruce growth in Norway. In: Eichhorn, J. (ed.): Symposium: Forests in a changing environment. Results of 20 years ICP forests monitoring Göttingen. 25.–28. 10. 2006. Frankfurt am Main, Sauerländer: 112–117. Schriften aus der Forstlichen Fakultät Göttingen und der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, 142.
- AUGUSTIN S., BOLTE A., HOLZHAUSEN M., WOLFF B. 2005. Exceedance of critical loads of nitrogen and sulphur and its relation to forest conditions. *European Journal Forest Research*, 124: 289–300.
- BOHÁČOVÁ L., UHLÍŘOVÁ H., LOMSKÝ B. (eds.) 2004. Monitoring zdravotního stavu lesa v České republice. Ročenka programu ICP Forests – data 2003. Jíloviště-Strnady, VÚLHM: 118 s.
- BOHÁČOVÁ L., LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V. (eds.) 2009. Monitoring zdravotního stavu lesa v České republice. Ročenka programu ICP Forests/Forest Focus 2006 a 2007. Strnady, VÚLHM: 134 s.
- BOHÁČOVÁ L., LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V. (eds.) 2010. Monitoring zdravotního stavu lesa v České republice. Ročenka programu ICP Forests/FutMon data 2008 a 2009. Strnady, VÚLHM: 157 s.
- BONNEAU M., LANDMANN G., NYS C. 1990. Fertilization of conifer stands in the Voges and in the French Ardennes. *Water, Air, and Soil Pollution*, 54: 577–594.



Obr. 9.

Korelace mezi defoliací a koncentracemi prvků v prvním ročníku jehličí za období 1995–2010

Fig. 9.

Correlation between defoliation and the concentrations of elements in the current needles for the period of 1995–2010

CANNELL M.G.R., THORNLEY J.H.M., MOBBS D.C., FRIEND A.D. 1998. UK conifer forests may be growing faster in response to increased N deposition, atmospheric CO₂ and temperature. *Forestry*, 71: 277–296.

CRONAN C.S., GRIGAL D. F. 1995. Use of calcium/aluminium ratios as indicators of stress in forest ecosystems. *Journal of Environmental Quality*, 24: 209–226.

DAMBRINE E., CARISEY N., POLLIER B., GRANIER A. 1993. Effects of drought on the yellowing status and the dynamics of mineral elements in the xylem sap of declining spruce (*Picea abies* L.). *Plant and Soil*, 150: 303–306.

DRENOWSKY R.E., RICHARDS J. H. 2004. Critical N:P values: Predicting nutrient deficiencies in desert shrublands. *Plant and Soil*, 259: 59–69.

EWALD J. 2005. Ecological background of crown condition, growth and nutritional status of *Picea abies* (L.) Karst. in the Bavarian Alps. *European Journal of Forest Research*, 124: 9–18.

FINÉR L. 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. *Acta Forestalia Fennica*, 208: 63 s.

GARBER K. 1966. The influence on vegetation of an F-polluted atmosphere. *Angewandte Botanik*, 40: 12–21.

GEBAUER G., SCHULZE E.D. 1988. Forest decline of spruce as a result of nutrient imbalance and nutrient stress. In: *Environmental aspects*

of applied biology. 19th–21st September 1988, University of York, England. Wellesbourne, Warwick, AAB: 123–130.

HADAŠ P. 2006. Potenciální depoziční toky síry, dusíku, iontů vodíku a jejich vliv na zdravotní stav lesních porostů na území PLO Krušné hory. In: Slodičák, M., Novák, J. (eds.): *Lesnický výzkum v Krušných horách. Recenzovaný sborník z celostátní vědecké konference konané 20. 4. 2006 v Teplicích. Jíloviště-Strnady, VÚLHM – VS Opočno: 17–38.*

HEINSDORF D., BRANSE C.H. 2002. Entwicklung der N Nährelementgehalte in den Nadeln von Kiefernbeständen auf charakteristischen pleistozänen Standorten Brandenburgs in den Jahren 1964 bis 1999. *Forst und Holz*, 57: 421–428.

HŮNOVÁ I., ŠANTROCH J., OSTATNICKÁ J. 2004. Ambient air quality and deposition trends at rural stations in the Czech Republic during 1993–2001. *Atmospheric Environment*, 38: 887–898.

HÜTTL R.F. 1989. Liming and fertilization as mitigation tools in declining forest ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 44: 93–118.

HÜTTL R.F. 1990. Nutrient supply and fertilizer experiments in view of N saturation. *Plant and Soil*, 128: 45–58.

HÜTTL R.F., SCHAAF W. 1997. Magnesium deficiency in forest ecosystems. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 362 s.

HÜTTL R.F., SCHNEIDER B.U. 1998. Forest ecosystem degradation and rehabilitation. *Ecological Engineering*, 10: 19–31.

- JARVIS P.G., LINDER S. 2000. Constraints to growth of boreal forests. *Nature*, 405: 904–905.
- JARVIS P.G., LINDER S. 2007. Forests remove carbon dioxide from the atmosphere: spruce forest tales! In: Freer-Smith, P.H. et al. (eds.): *Forestry and climate change*. Wallingford, CABI: 60–72.
- JIRGLE J., KUČERA J., TICHÝ J., MATERNA J. 1983. Damage to forests in the Jizera Mountains by pollution. *Zprávy lesnického výzkumu*, 28: 16–24.
- KANDLER O., SENSER M., MILLER W. 1990. Vergilbung und Wiedergrünung der Fichte. In: Jositz, J. (ed.): *Neuartige Waldschaden – Erkenntnisse und Folgerungen*. München, Hanns-Siedel-Stiftung: 113–138.
- KARNOSKY D.F., TALLIS M., DARBACH J., TAYLOR G. 2007. Direct effect of elevated carbon dioxide on forest tree productivity. In: Freer-Smith P.H. et al. (eds.): *Forestry and climate change*. Wallingford, CABI: 136–142.
- KATEB E.H., BENABDELLAH B., AMMER A., MOSANDL R. 2004. Reforestation with native tree species using site preparation techniques for the restoration of woodlands degraded by air pollution in the Erzgebirge, Germany. *European Journal of Forest Research*, 123: 117–126.
- KAUPENJOHANN M. 1989. Chemischer Bodenzustand und Nährlementversorgung immissionsbelasteter Fichtenbestände in NO-Bayern. Bayreuth, Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie: 202 s.
- LARCHER W. 1995. *Physiological plant ecology. Ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Berlin, Springer: 506 s.
- LEBOURGEOIS F. 2007. Climatic signal in annual growth variation of silver fir (*Abies alba* Mill.) and spruce (*Picea abies* Karst) from French permanent plot Network (RENECOFOR). *Annals of Forest Science*, 64: 333–343.
- LINDER S. 1995. Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce. *Ecological Bulletins*, 44: 178–190.
- LOMSKÝ B., UHLÍŘOVÁ H. 1993. Evaluation of the experiment with fertilization and liming of young-growth spruce stands in the Jizerské hory Mts. *Lesnictví-Forestry*, 39: 80–86.
- LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V. 2002. Damage of the forest stands in 1990s. In: Lomský B. et al. (eds.): *SO₂-pollution and forests decline in the Ore Mountains*. Jíloviště-Strnady, VÚLHM: 139–155.
- LOMSKÝ B., MATERNA J., PFANZ H. (eds.) 2002: *SO₂-pollution forests decline in the Ore Mountains*. Jíloviště-Strnady, VÚLHM: 342 s.
- LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V. 2004. Different types of damage in mountain forest stands of the Czech Republic. *Journal of Forest Science* 50: 533–537
- LOMSKÝ B. 2006. Zdravotní stav a výživa smrkových porostů 10 let po zimě 1995/1996. In: Slodičák M., Novák J. (eds.): *Lesnický výzkum v Krušných horách. Recenzovaný sborník z celostátní vědecké konference konané 20. 4. 2006 v Teplicích*. Jíloviště-Strnady, VÚLHM – VS Opočno: 181–196.
- LUYSSAERT S., SULKAVA M., RAITIO H., HOLLMEN J. 2004. Evaluation of forest nutrition based on large-scale foliar surveys: are nutrition profiles the way of the future? *Journal of Environmental Monitoring*, 6: 160–167.
- MATERNA J. 1963. *Hnojení lesních porostů*. Praha, Státní zemědělské nakladatelství: 227 s.
- MATERNA J. 1981. Výživa krušnohorských smrčků. *Lesnictví*, 27: 689–698.
- MATERNA J. 1983. Relation between SO₂ concentration and reaction of spruce stands. *Aquilo, Ser. Botanica*, 19: 147–156.
- MATERNA J. 2003. *Výsledky průzkumu výživy lesních porostů v lesích ČR*. Brno, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský: 125 s.
- MATYSSEK R., HAVRANEK W.M., WIESER G., INNES J.L. 1997. Ozone and the forests in Austria and Switzerland. In: Sandermann, H. et al. (eds.): *Forest decline and ozone. A comparison of controlled chamber and field experiments*. Berlin, Springer: 95–134.
- MELLERT K.H., PRIETZEL J., STRAUSSBERGER R., REHFUESS K.E. 2004. Long-term nutritional trends of conifer stands in Europe: results from the RECOGNITION project. *European Journal of Forest Research*, 123: 305–319.
- MELOUN M., MILITKÝ J. 2006. *Kompendum statistického zpracování dat. Metody a řešené úlohy*. Praha, Academia: 984 s.
- PFANZ H., VOLLRATH B., LOMSKÝ B., OPPMANN B., HYNEK V., BEYSCHLAG W., BILGER W., WHITE M.V., MATERNA J. 1994. Life expectancy of spruce needles under extremely high air pollution stress: performance of trees in the Ore Mts. *Tree*, 8: 85–92.
- POLLE A., MÖSSNANG M., SCHÖNBORN A., SLADKOVIC R., RENNENBERG H. 1992. Field studies on Norway spruce trees at high altitudes. *New Phytologist*, 121: 89–99.
- PRIETZEL J., REHFUESS K.E., STETTER U., PRETZSCH H. 2008. Changes of soil chemistry, stand nutrition, and stand growth at two Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sites in Central Europe during 40 years after fertilization, liming, and lupine introduction. *European Journal of Forest Research*, 127: 43–61.
- RABEN G., ANDRAE H. 1999. Short- and long-term pulses of acidification in forest ecosystems of Saxony (Germany). *Journal of Forest Science*, 45: 163–168.
- SCHALL P. 1991. Productivity and vitality of spruce stands: dynamic feedback simulation for responses to different annual and seasonal levels of magnesium supply from soil. *Vegetatio*, 92: 111–118.
- SCHIERL R., KREUTZER K. 1989. Projekt Höglwald: Dolomitische Kalkung eines Fichtenbestandes auf saurer Braunerde: Auswirkungen auf Bodenchemie und Vegetation. *Kali-Briefe*, 19: 417–423.
- SCHULZE E.D., LANGE O.L., OREN R. 1989. Forest decline and air pollution: a study of spruce (*Picea abies*) on acid soils. Berlin, Springer: 475 s.
- SCHULZE E.D., BECK E., MÜLLER-HOHENSTEIN K. (eds.) 2005. *Plant Ecology*. Berlin, Springer: 702 s.
- SIEFERMANN-HARMS D., BOXLER-BALDOMA C., WILPERT K., HEUMANN H.G. 2004. The rapid yellowing of spruce at a mountain site in the Central Black Forest (Germany). Combined effects of Mg deficiency and ozone on biochemical, physiological and structural properties of the chloroplasts. *Journal of Physiology*, 161: 423–437.
- SLODIČÁK M. et al. 2005. *Lesnické hospodaření v Jizerských horách*. Hradec Králové, Lesy České republiky; Jíloviště-Strnady, VÚLHM: 232 s.
- SLODIČÁK M. et al. 2009. *Lesnické hospodaření v Jizerských horách*. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 232 s.
- STEFAN K., HERMAN F. 1996. Nutrient contents of spruce needles from the Tyrolean Limestone Alps. *Phyton*, 36: 231–244.
- VINŠ B., POSPÍŠIL F., KUČERA J. 1982. A contribution to the assessment of the development of smoke damage in the Jizera Mountains Protected Landscape Area. *Lesnictví*, 28: 87–102.
- WIELER A. 1905. *Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen*. Berlin, Bornträger: 427 s.

- UN-ECE. 2008. The condition of forests in Europe. Executive report 2008. Hamburg, UNECE: 22 s.
- UN-ECE. 2010. ICP forests manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests: international co-operative programme on assessment and monitoring of air pollution effects on forests. Hamburg, Johann Heinrich von Thünen Inst., Inst. For World Forestry: 577 s.
- ZIMMERMANN F., LUX H., REUTER F., WIENHAUS O. 2002. SO₂ pollution and forest decline in the Ore Mountains – historical aspects, scientific analysis, future developments. In: Lomský B. et al. (eds.): SO₂-pollution and forest decline in the Ore Mountains. Jiloviště-Strnady, VÚLHM: 86–116.

CHANGES IN THE HEALTH STATE AND NUTRITION LEVEL OF YOUNG FOREST STANDS IN THE JIZERA MTS. (JIZERSKÉ HORY, CZECH REPUBLIC) DURING DECREASE OF AIR POLLUTION LOAD

SUMMARY

The aim of the article is to evaluate changes in the health state (crown defoliation) and changes in nutrition level of young forest stands, caused by the historical development of the air pollution load in the Jizera Mts. (Jizerské hory, Czech Republic). Nineteen spruce research plots were selected on the plateau, within complexes of the young Norway spruce stands which were planted 40 years ago (Tab. 1). Since 1993 the defoliation of tree crown and height increment have been assessed every year after the vegetation season. Sampling of needles for nutrient analyses was done every autumn, together with the crown condition assessment. Soil samples were taken in 1995, 1999, 2003 and 2009. Samples of the upper organic layer and of the mineral soil in 0–30 cm depth were taken separately. Samples of foliage, humus and mineral soil were prepared and analyzed according to the standard ICP Forests methods. Long term investigation of the young spruce stands in the Jizera Mts. confirms that the health state, expressed in crown defoliation, is affected by combination of various stress factors (emissions, frost and temperature, nutrition supply). Long term downward trend of crown defoliation was demonstrated. The health status was significantly improved, the crown defoliation reached 47% in the early 1990s (1993). In subsequent years, crown defoliation of spruce stands dropped to an average 31%. Since 2007, defoliation of crowns has not exceeded 26%; in 2010 it was 21.3% and crown defoliation values were comparable to those of other forest regions in the Czech Republic. Correlation analysis of the height increment and crown defoliation has showed a negative effect on height increment with increasing crown defoliation (Fig. 5). There were found significant dependence of crown defoliation on the element concentration in the needles (Fig. 9). Defoliation on Norway spruce stands increases with increasing needle concentration of sulphur, fluorine and also potassium and decreases with higher concentration of nitrogen and magnesium. High nitrogen deposition is an important factor that influences the vulnerability of forest ecosystems. Current relatively high nitrogen nutrition level of young spruce stands is abnormal under the local mountain conditions (Fig. 6). Luxury supply of nitrogen can affect spruce nutrition and balance of other biogenic elements such as phosphorus and magnesium on poor acidified sites. Phosphorus deficiency was found in the current needles in 1993 on 13 plots, in the following years on 2–9 plots, and in the first needle class the situation is much worse. In the Jizera Mts. magnesium deficiency was found in the current needles in the Jizera and Zemník plots. Foliar analysis has demonstrated a significant decrease in air pollution load (sulphur and fluorine). Performed soil analyses confirmed the fact that the soil environment is acidic. Median values of the exchange pH are between 3.33 and 3.54 in the humus layer and between 3.36 and 3.62 in mineral soil layer. Availability of phosphorus is being significantly limited by continuing input of acid deposition, which increases the soil acidity and reduces the availability of phosphorus for spruce. The amount of available phosphorus, magnesium and calcium is significantly deficient in the mineral soil (Fig. 7 and 8). The persistent problem of nutrition may adversely affect growth and development of the health status of the monitored spruce stands in the future.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Radek Novotný, Ph.D., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.
Strnady 136, 252 02 Jiloviště, Česká republika
tel.: +420 602 291 763; e-mail: novotny@vulhm.cz