

Effect of fertilisation on Norway spruce needles

V. V. PODRÁZSKÝ¹, S. VACEK², I. ULBRICHOVÁ¹

¹*Czech University of Agriculture, Faculty of Forestry, Prague, Czech Republic*

²*Forestry and Game Management Research Institute, Research Station Opočno, Czech Republic*

ABSTRACT: Yellowing of Norway spruce is a relatively common problem in many regions of the Czech Republic. At some places, it is also connected with forest decline. This unfavourable phenomenon is initiated by several ecological as well as anthropogenic processes. One of the most important is the imbalance of forest stand nutrition. Particular reasons lead to nutrient deficiency, especially deficiency of magnesium. Solution to this undesirable trend is a profound ecological analysis and cause-oriented treatments. Besides decreasing air pollution impacts, fertilisation with deficient nutrients represents a successful treatment in the forest stand management in affected areas. In the area of interest, application of relatively small amounts of appropriate fertiliser (SILVAMIX Mg) led to considerable improvement in the defoliation dynamics and yellowing progress since the first year after application.

Keywords: air pollution impact; defoliation; spruce yellowing; nutrient deficiency; fertilisation

Yellowing of forest tree needles have been observed in various parts of Europe in several periods. It is followed by forest decline quite often. Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] is among the most damaged tree species in Central Europe at present. In particular cases, different causes were described as decisive for the healthy status of forest trees. As the most important, the imbalances in nutrition were recognised in many cases, accompanied by fungal diseases and ozone damage. Despite of many discussions and disputations, the nutrition factors are considered as the main reason of decreasing vitality and stability of forest ecosystems and the main reason for forest dieback.

These ecosystem processes were described and many remedial treatments were tested especially in neighbouring countries, i.e. in Germany and Austria. For the first time, a “new type of forest decline” (neuartige Waldschäden) was described and studied there. It mainly consisted in the leaching of bases (primarily Mg) from tree needles and from the forest soil, in the origination of nutrient deficiency and finally resulting in the physiological damage of forest tree species (e.g. BOSCH 1986; HÜTTL 1985, 1987; HUETTL, ZOETTL 1993; REHFUES 1989; ULRICH 1986).

These cited studies as well as other papers documented this described type of damage also in the Czech border regions of the Šumava Mts., Český les Mts. and Smrčiny

Mts. They represented a basis for successful definition of remedial treatments, so called chemical amelioration by liming and fertilising with deficient nutrients. Restoration of the forest tree vitality was usually very rapid, during one or a few vegetation seasons. The results of these presented studies offer a possibility to use similar treatments also in the Czech conditions where the Norway spruce yellowing would appear and nutrient deficiency would be recognised as the decisive damage factor.

PROBLEM OF NORWAY SPRUCE YELLOWING

Yellowing of Norway spruce as well as of other tree species is considered to be caused by indirect impacts of the air pollution stress. Besides the direct effects of pollution on the leaves, the forest soil is affected adversely as a part of the forest tree species environment. Acid deposition initialises soil changes, reflected by the damage of root systems and disorders of tree nutrition. The main acidification effects were documented (MATERNA 1986; HÜTTL 1985; HUETTL, ZOETTL 1993) as follows:

- losses of nutrients by leaching from damaged foliage and from the so called physiological soil profile (rooted layers with nutrient uptake by tree roots),
- activation of toxic soil compounds, especially of free aluminium, damaging fine tree roots,

Presented research was supported by the Grant Project MSM 414100009 *Restoration of Functioning Forest Ecosystems of the Krušné hory Mts.*

- high nitrogen deposition, promoting relative deficiency of other nutrients and further soil acidification after nitrate leaching.

It is to emphasise that these mechanisms played only a minor role, and direct damage of tree species was prevailing in the most heavily damaged regions of the Czech Republic. High air pollution level and direct effects were so determining. The ways of damage, described above, can be determining in other site and ecological conditions:

1. in areas with relatively low air pollutant concentration, but with relatively high deposition,
2. in regions with poor soils, deficient in bases, especially magnesium,
3. in the case of relatively vital forest stands, the latent and chronic damage prevails there (not the acute one).

These conditions are prevailing in two Czech regions with the most spread yellowing symptoms – in the Šumava and Český les Mts. on one hand and in the Krušné hory Mts. on the other hand.

It is the Šumava region, where this type of damage can have great importance because of the high ecosystem susceptibility to environment acidification – on mineral soils: i.e. soils poor in nutrients without higher base content, relatively vital forest stands, and low pollutant concentrations in the air. On the contrary, e.g. studies of the IFER documented considerably high acid deposition, comparable with regions with higher direct air pollution impact. Yellowing phenomena in former Military Forest Area in this region were common in the last decades, especially on the former Horní Planá Forest Enterprise territory since the mid-1980ies. They were accompanied by large-scale defoliation, reaching up to 60%, not yet converting into forest decline.

Table 1. Nutrient content (mg/kg) in needles of young Norway spruce in the Forest District Borová Lada

Nutrient	Deficiency limit	Spruce – 2-year needles	
		Not yellowing	Yellowing
K	3,000	2,684	4,475
Ca	1,000	2,927	2,099
Mg	500	831	378
Fe	20	2	24
Zn	10–15	37	38
Cu	2–3	4	7
Mn	10–20	193	403

Yellowing was/is very often in young stages (plantations and thickets), it is seldom observed in higher ages. As an example, Table 1 summarises the results from the Borová Lada Forest District, documenting results of foliar analyses from yellowing and not yellowing Norway spruce plantations.

Individuals with deficiency symptoms showed a visibly lower foliar content of magnesium and on the contrary, a higher content of elements documenting the environment acidification (Fe, Mn). Mg-deficiency has to be considered undoubtedly as a decisive cause of the unfavourable state of the plantation. It is a result of natural as well as man-caused processes. This situation is typical of large areas of the Šumava and Český les Mts.

For this area, the low nutrient supply is a natural state. Extreme climatic conditions connected with acid poor geological bedrock (often organogenetic soils only) and intensively growing Norway spruce stands resulted in restricted and low-intensity nutrient cycles – i.e. small

Table 2. Stand and site characteristics of the studied yellowing forest stands in the Forest District Stožec

Plot		Characteristics				Variant
No.	Identification	Stand	Altitude m a.s.l.	FST	Age in 1994	
21	U kanálu K1	37F3	920	7O1	44	Fertilisation
22	U kanálu K2	37F3	920	7O1	44	Control
23	Stožec S1	49A1	1,230	8K7	107	Fertilisation
24	Stožec S2	49A1	1,230	8K7	107	Control

Table 3. Foliation and yellowing of Norway spruce on plots 21–24 in the Forest District Stožec in the years 1998–2002 (%)

Plot			Year									
No.	Identification	Variant	1998		1999		2000		2001		2002	
			Fol.	Yell.	Fol.	Yell.	Fol.	Yell.	Fol.	Yell.	Fol.	Yell.
21	K1	Fertilisation	80	13	86	9	82	6	84	9	71 a	2 a
22	K2	Control	79	15	85	13	81	16	81	15	62 b	14 b
23	S1	Fertilisation	75	18	73	16	73	16	75	9	69 c	7 c
24	S2	Control	76	15	75	14	75	19	75	17	71 c	19 d

Note: the same or no indexes indicate statistically homogeneous groups
Fol. – foliation, Yell. – yellowing

amounts of intensely recycled nutrients. Replacement of natural sustainable cycles by high variety of supply-demand amplitudes of a commercial forest resulted in nutrient supply disturbances. Important periods of increased nutrient demands are the regular part of the cycles in commercial forests, being only partly covered by natural and semi-natural processes. Nutrient deficiencies occur systematically – being removed later in the stage of lower nutrient demand.

Magnesium deficiency is also determined in older stands. Differently from this phenomenon in younger stages, this could represent a more serious problem in the future. An active approach, i.e. the use of liming and fertilisation, is successful, as documented by many experimental as well as practical trials in Germany and Austria. In Czech conditions, this concept is based politically and economically, not on scientific knowledge.

No project is aimed at forest nutrition management in the Šumava region at present, despite of the fact that in the past, several localities were limed and results are available. But it would be useful to detect and determine localities and extent of deficient stands. An alternative strategy could be the change in the composition of forest stands towards more space, age and species diversity. This should be one of the priorities for the National Park administration policy.

Similar dynamics of forest stands is observed in a geographically neighbouring region, in the W Krušné hory Mts., former Forest Enterprises Horní Blatná, Kraslice and Kladská. Large-area damage appeared here in spring 1999, demonstrated as yellowing of older Norway spruce needles progressing into their reddening and fall later (LOMSKÝ et al. 2000). Colour changes and forest decline dynamics fully resembled the situation in neighbouring countries 15 years ago. Foliage damage was very often irreversible, sometimes resulting in lethal tree defoliation. This unfavourable situation was initialised by long lasting acid deposition, direct air pollution effects, soil degradation and acidification of its upper layers. Preliminary analyses detected the deficiency of nitrogen, calcium and especially of magnesium.

This situation needed a rapid solution and as counteracting treatments, fertilisation with deficient nutrients (N, Mg) was suggested. As for foliar liquid fertilisers, MgN-sol and Lamag (N, Mg, Mo) were selected. This application was repeated 3× before the end of July 1999. At the same time, large scale liming and ground fertilisation was prepared for the next 5 years. As a main fertilisation material, dolomitic limestone with potential further Mg supply was chosen.

Applications of foliar fertilisers lead to (preliminary evaluation):

- increase in Mg and N foliar contents, disappearance of deficiency symptoms and increase in assimilatory organs biomass; health state of forest trees improved considerably,
- effects were restricted to a short period only in most cases, reactions of stands were dependent on the nutrition and health status before the treatment,

- deficient nutrients were effectively taken up and incorporated into the bio-chemical cycles,
- soil amelioration is another step, especially urgent is liming with dolomitic limestone with addition of other nutrients; good results were obtained by SILVAMIX use up to an admixture amount 10–15%,
- treatments in 1999 had good results, acute nutrient deficiency was counteracted,
- they did not solve the problem of high soil acidity and low soil nutrient content; this has to be assured by following soil amendment treatments (LOMSKÝ et al. 2000).

METHODS

Two pairs of permanent research plots (PRP) were established for the study of fertilisation effects in summer 1998. Research plots are located in the Stožec Forest District area in zones II of the Šumava National Park (Table 2). Yellowing is observed for a long time there, neither reaching the critical extent nor progressing into forest decline. In the German as well as Austrian part of this mountain range, many successful fertilisation trials were established to prevent and reduce Norway spruce yellowing and defoliation. The so called “new type of forest decline” was described there since the 1980ies and several types of treatment were tested as counteraction.

In the present experiment, fertiliser SILVAMIX (SILVAMIX Mg) was spread out manually in the summer 2000. Amount of the amendment matter was used, corresponding to the use of 100 kg N/ha. Particular plots are 50 × 50 m in size, foliage percentage and yellowing needle percentage was determined every autumn since the plot establishment. An ocular estimation method is used for this purpose, in 5% defoliation and yellowing classes (VACEK, MAYOVÁ 2000). For a synthesis of results, the following defoliation degrees were defined.

Defoliation degree	Foliation (%)	Tree characteristics
0	91–100	Healthy
1	71–90	Slightly damaged
2	51–70	Medium damaged
3	31–50	Heavily damaged
4	1–30	Declining
5	0	Dead

RESULTS

The results of the experiment have been very remarkable since the first years after fertiliser application in 2000 (Table 3). Several important trends are obvious. The foliation is visibly lower and the state is in relative equilibrium for both variants during the study period at the more extreme site (Stožec, S – plots 23, 24). Before fertilising, yellowing percentage was very slightly higher on plot 23. After fertilising, this situation was reversed, and needle

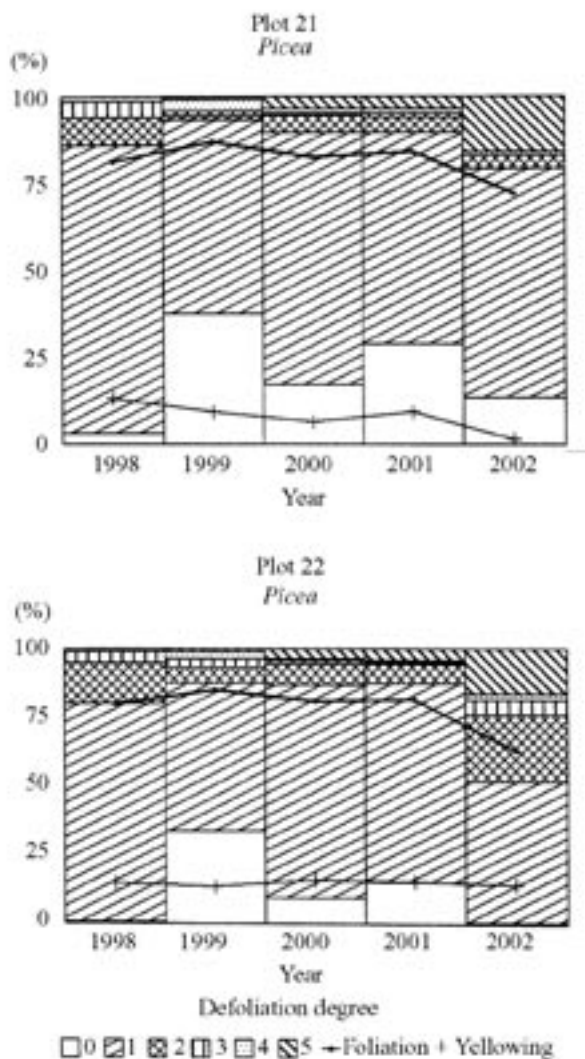


Fig. 1. Defoliation degrees and yellowing dynamics in % on permanent research plots 23–24, Stožec locality

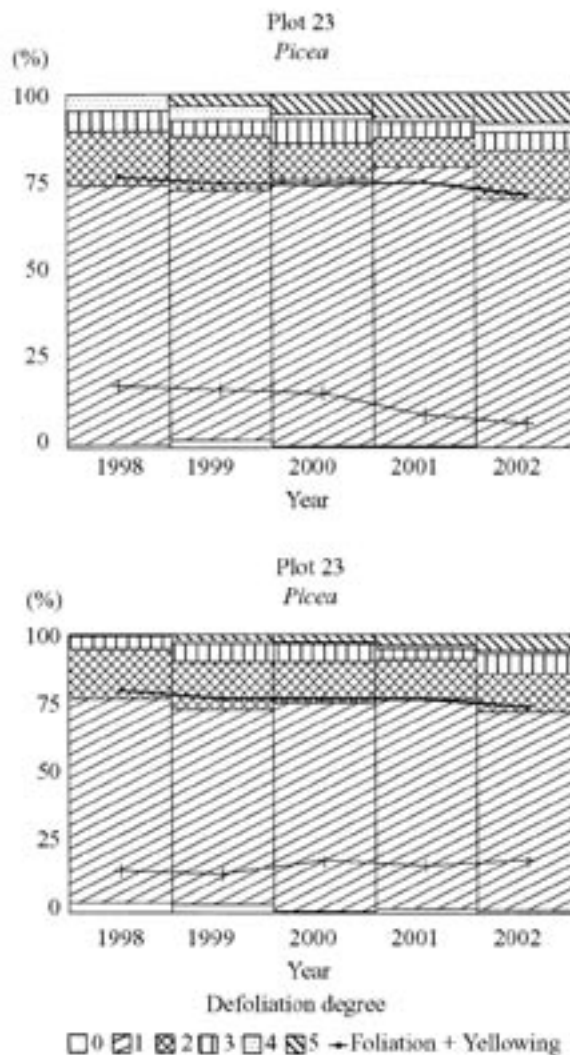


Fig. 2. Defoliation degrees and yellowing dynamics in % on permanent research plots 21–22, U kanálu locality

yellowing on this fertilised plot was markedly lower than on the control one. Since 2001, the results between variants became statistically significant and the yellowing was suppressed by fertilisation on this plot.

On the other locality (U kanálu, K – plots 21, 22) studied, the foliage state did not change in the period 1998–2001. Considerable defoliation (13–19%) was observed in 2002, being caused by the bark beetle. Defoliation progress was more rapid on the control plot (plot No. 22) than on the fertilised one (plot No. 21). Yellowing was minimised on the fertilised plot (decrease from 9% to 2%) compared to 2001, a relatively high number of healthy trees remained there (13% from 28%). On the contrary, the yellowing percentage was very similar and the number of healthy trees decreased from 15% (2001) to 1% (2002) on the control variant (Fig. 2). These results were also statistically significant since the last two years.

Plots will also be studied in the subsequent periods, maximum of favourable effects should appear in the next few years. The results of the two years lasting experiment

are very positive. The effects of fertilisation on the soil, ground vegetation and natural regeneration have to be studied on particular plots.

CONCLUSIONS

Short-term effects of fertilisation were considerably favourable, supporting deficient forest ecosystems with magnesium. Apart from the bark beetle attack, foliage losses were prevented and the yellowing symptoms were lowered. The fertilisation results were more marked at sites in more favourable ecological conditions where the yellowing was almost eliminated. The extreme conditions of a locality lower amelioration effects.

Outside of sites, important from the aspect of nature conservation, fertilisation with deficient nutrients can show positive effects on the health status of forest trees and on the forest stand stability in this way. Norway spruce stands in these conditions can partly be stabilised by this treatment. A detailed analysis of ecological, site and nu-

trition conditions is necessary before the planning of all activities in any case.

The tested fertiliser, i.e. SILVAMIX, showed long-lasting positive effects on the health state of forest trees. It can be recommended for nutrition improvement projects in similar conditions.

References

- BOSCH C., 1986. Standorts- und ernährungskundliche Untersuchungen zu den Erkrankungen der Fichte *Picea abies* (L.) Karst. in höheren Gebirgslagen. Forstliche Forschungsberichte Nr. 75, München: 241.
- HÜTTL R., 1985. „Neuartige“ Waldschäden und Nährelementversorgung. Freiburg im Breisgau, Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre: 195.
- HÜTTL R.F., 1987. „Neuartige“ Waldschäden, Ernährungsstörungen und Düngung. Allg. Forstz., 42: 289–299.
- HUETTL R.F., ZOETTL H.W., 1993. Liming as a mitigation tool in Germany's declining forests – reviewing results from former and recent trials. Forest Ecol. Mgmt, 61: 325–338.

- LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V., ŠEBKOVÁ V., 2000. Zdravotní stav a imisní zátěž smrkových porostů v Krušných horách. In: Výsledky a postupy výzkumu v imisní oblasti SV Krušnohoří. Teplice, VÚLHM: 43–52.
- MATERNA J., 1986. Změny ve výživě lesních porostů a jejich kompenzace. In: Vápnění lesních půd v imisních oblastech. Ústí nad Labem, Dům techniky ČSVTS: 8–17.
- REHFUES K.E., 1989. Zu: Bodenkundliche Forschung im Zusammenhang mit den neuartigen Waldschäden. Entgegnung auf eine Stellungnahme von B. Ulrich in AFZ 43/1988, Seite 1171. Allg. Forstz., 45: 390–396.
- ULRICH B., 1986. Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben: langfristige Konsequenzen und forstliche Möglichkeiten. Forstwiss. Cbl., 105: 421–435.
- VACEK S., MAYOVÁ J., 2000. Zdravotní stav lesních porostů na TVP v NP Šumava. In: PODRÁZSKÝ V. et al. (eds.), Monitoring, výzkum a management lesních ekosystémů Národního parku Šumava. Praha, ČZU: 142–152.

Received for publication April 22, 2003
Accepted after corrections May 26, 2003

Vliv přihnojení na stav jehličí smrku ztepilého

V. V. PODRÁZSKÝ, S. VACEK, I. ULBRICHOVÁ

¹Česká zemědělská univerzita v Praze, Lesnická fakulta, Praha, Česká republika

²Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Výzkumná stanice Opočno, Opočno, Česká republika

ABSTRAKT: Žloutnutí smrku ztepilého je relativně běžným jevem ve mnoha lesních oblastech České republiky. Často bývá spojeno s následným hynutím lesů. Tento nežádoucí fenomén je podmiňován jak přírozenými, tak antropogenně pozměněnými procesy. Jednou z nejdůležitějších příčin je nevyváženost výživy porostů, která vede k deficitu prvků, nejčastěji hořčíku. Nastolení rovnováhy lze napomoci důkladným půdním rozbořem a následným opatřením zaměřeným na odstranění hlavní příčiny deficitu. I přes snižující se přímý dopad imisí zůstává přihnojování deficitními živinami úspěšným opatřením managementu v postižených oblastech. Relativně malé množství dodatkového hnojiva (SILVAMIX Mg) v zájmové oblasti vedlo k výraznému zlepšení dynamiky olistění a procesů žloutnutí už v prvním roce po aplikaci.

Klíčová slova: vliv imisí; defoliace; žloutnutí smrku; deficit živin; hnojení

Žloutnutí asimilačních orgánů a následná defoliace lesních dřevin, v první řadě smrku ztepilého [*Picea abies* (L.) Karst.] jsou pozorovány v různých obdobích v řadě oblastí Evropy. Žloutnutí je zpravidla počátečním stadiem dalšího zhoršování zdravotního stavu lesních porostů, tedy počátkem odumírání lesů. V odlišných případech byla popsána řada příčin a doprovodných jevů tohoto fenoménu, z nichž nejdůležitější jsou nerovnovážné stavy ve výživě, potom napadení zejména asimilačních orgánů houbovými agens a konečně i vliv ozonu. Přes všechny diskuse o možných či prokázaných příčinách neuspokojivého stavu lesních porostů jsou

procesy vyvolávající ztráty živin z lesních ekosystémů a deficit ve výživě prozatím uvažovány jako nejčastější příčina chřadnutí lesů a případně jejich dalšího odumírání. Rozsáhle a důkladně byly tyto tendence v dynamice lesních porostů popisovány a nápravná opatření byla výzkumně i provozně řešena v Německu a Rakousku.

Žloutnutí lesních dřevin je nejčastěji spojováno s nepřímými dopady imisní kalamity. Kromě přímého vlivu jednotlivých složek antropogenních imisí je tak ovlivňováno i prostředí dřevin, zejména lesní půda. Kyselá depozice způsobuje půdní změny, které se odrážejí

v poškození kořenového systému a v narušení výživy. K nejdůležitějším dopadům acidifikace půd náleží:

- ztráty bází vyplavením z narušených asimilačních orgánů lesních dřevin a z tzv. fyziologického profilu půd, resp. z vrstvy, odkud jsou dřeviny schopny jednotlivé živiny čerpat,
- aktivizace toxických půdních složek – především volných forem hliníku, poškozujících kořenový systém lesních dřevin,
- vysoký spád dusíku, který vyvolává relativní deficit jiné živiny, v souvislosti s acidifikací prostředí nejčastěji bází.

Je nutné zdůraznit, že pro nejvíce poškozené oblasti ČR měly a mají tyto mechanismy poškození lesních porostů menší úlohu a jak v oblasti Krušných hor, tak i v severních pohořích, náležejících do soustavy sudetských pohoří, převažovalo přímé poškození lesních dřevin vysokými atmosférickými koncentracemi imisí. Uvedené způsoby poškození se mohou uplatnit v poněkud jiných imisně-ekologických podmínkách:

1. v oblastech s relativně nízkými koncentracemi polutantů v ovzduší, ale s poměrně vysokým kyselým spadem, depozicí,
2. v regionech s chudými půdami, deficitními s ohledem na báze, v první řadě hořčik,
3. v případě dosud relativně vitálních porostů lesních dřevin, kdy převažuje latentní a maximálně chronický typ poškození včetně poškození ozonem.

Tyto podmínky byly a jsou splněny především ve dvou oblastech České republiky, kde se pak i nejrozsáhleji projevují symptomy žloutnutí, způsobující provozní problémy. Jedná se o oblast Šumavy a Českého lesa na straně jedné a oblast západního Krušnohoří na straně druhé. Právě Šumava má pro vznik tohoto typu poškození mimořádně dobré podmínky, tj. chudé půdy bez větší zásoby bází, dosud vitální porosty a relativně nízké koncentrace škodlivin v ovzduší, způsobující přímé poškození asimilačních orgánů. Projevy žloutnutí jsou například v bývalých vojenských lesích, zejména na LZ Horní Planá, pozorovány od poloviny osmdesátých let. Docházelo při nich i k výrazné (až 60%) defoliaci. Dosud však nevedly k odumírání lesních porostů.

Pro sledování vlivu přihnojení deficitními živinami byly v létě roku 1998 založeny dvě dvojice výzkumných ploch. Trvalé výzkumné plochy (TVP) byly založeny na území LS Stožec, ve II. zónách NP Šumava (tab. 2). Dlouhodobě se zde projevuje fenomén žloutnutí, který však dosud nedosáhl kritického rozsahu. Na druhé straně

na německé i rakouské straně Šumavy je založena řada experimentů, dokládajících úspěšné aplikace chemické meliorace při odstranění příznaků poškození lesních porostů tzv. novodobým poškozením lesů.

Na hnojených variantách byla aplikována hnojiva řady SILVAMIX (SILVAMIX Mg) v létě 2000, manuálně, v dávkce 100 kg N/ha. Jednotlivé plochy mají výměru 50 × 50 m a je na nich každoročně v podzimním období stanoveno olistění a rozsah žloutnutí standardní okulární metodou s odhadem ve třídách po 5 %.

Výsledky experimentu jsou velice výrazné již první roky po aplikaci hnojiva (tab. 3). Vyplývá z nich několik význačných trendů. Na extrémnější lokalitě (Stožec, S – plochy 23, 24) jsou hodnoty olistění výrazně nižší a stav je po celou dobu sledování poměrně vyrovnaný, a to mezi oběma variantami. Hodnoty žloutnutí byly nevýznamně vyšší na ploše, která byla po dvou letech sledování přihnojena, to se projevilo již v roce 2000 zvratem výskytu projevů žloutnutí. Od roku 2001 jsou rozdíly již statisticky významné a žloutnutí je na této extrémnější ploše hnoji- vým zásahem výrazně potlačeno (obr. 1).

Na lokalitě U kanálu (plochy K – 21 a 22) se stav olistění na obou sledovaných plochách v letech 1998 až 2001 příliš neměnil. K velmi výrazné defoliaci (v rozsahu 13–19 %) došlo až v r. 2002, což bylo způsobeno atakem lýkožrouta smrkového. Na hnojené variantě však oproti roku 2001 došlo k výrazné minimalizaci projevů žloutnutí (pokles na 2 % z 9 %) a zůstal zde poměrně vysoký podíl zdravých stromů (13 % z 28 %). Naproti tomu na kontrolní variantě zůstaly projevy žloutnutí v podstatě nezměněny a podíl zdravých stromů poklesl z 15 % (v r. 2001) až na 1 % (v r. 2002) (obr. 2). Tyto výsledky získané v posledních dvou letech sledování jsou statisticky významné.

Krátkodobé působení hnojivého zásahu, dodávajícího deficitní hořčik, se projevilo jako velice příznivé. Nebe- reme-li v úvahu vliv kůrovce, bylo zamezeno výrazným ztrátám asimilačních orgánů a byly odstraněny (nebo alespoň výrazně potlačeny) příznaky žloutnutí. Mimo maloplošná zvláště chráněná území a území I. zóny NP, tam, kde se předpokládá trvalá hospodářská činnost člověka, může tedy dodání deficitních živin mít pozitivní úlohu ve zlepšení zdravotního stavu a zvýšení stability lesních – zejména smrkových – porostů. Aplikaci hnojivých látek pak musí předcházet důkladný rozbor ekologických, stanovištních a nutričních podmínek. Rovněž by měl být následně vyhodnocen stav půd, přizemní vegetace a stav přirozeného zmlazení na jednotlivých plochách.

Corresponding author:

Prof. Ing. VILÉM V. PODRÁZSKÝ, CSc., Česká zemědělská univerzita v Praze, Lesnická fakulta, 165 21 Praha 6-Suchdol, Česká republika
tel.: + 420 224 383 403, fax: + 420 220 923 132, e-mail: Podrazsky@lf.czu.cz
