

ANALÝZA VYBRANÝCH FYZIOLOGICKÝCH PARAMETROV SMREKA (*Picea abies* L. Karst.) VO VZŤAHU K TEPLOTE KMEŇA A PROSTREDIA

ANALYSIS OF SELECTED PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF NORWAY SPRUCE (*Picea abies* L. Karst.) AS RELATED TO STEM AND ENVIRONMENT TEMPERATURES

J. Kmet^{*}, E. Ditmarová^{**}, K. Střelcová^{*}, M. Blaženec^{**}, P. Baláž^{***}

^{*}Technická univerzita vo Zvolene, ^{**}Ústav ekológie lesa vo Zvolene,
^{***}Národné lesnícke centrum

Abstract

Stress caused by drought or a sudden insolation of a stand wall is considered to be one of the main drivers of disintegration of spruce stands. The information about the relationships between relevant environmental factors and the negative effects of extreme values of these factors on tree species is necessary for the identification of stands and/or individual trees stressed by drought or sudden insolation at the stand wall. The results confirmed the supposed negative effects of tree defoliation on the transpiration capacity and thus on the putative capability of chilling the organs of a tree. The levels of the photosynthetic process in the remaining parts of the needle biomass of adult spruces are low, so that supplying of spruce trees by assimilates is insufficient. The antioxidation system of spruce needles is weakened as well (very low carotenoid concentrations) what increases the sensitivity to photochilling.

Key words: drought stress, ecophysiology, stress physiology, *Picea abies*

Úvod

Stres suchom alebo náhlym ožiarením na porastovej stene je považovaný za jeden z hlavných iniciátorov ďalšieho rozpadu smrekových porastov. Pre identifikáciu porastov, prípadne aj jednotlivých stromov stresovaných suchom alebo náhlym ožiarením na porastovej stene potrebujeme poznať vzťah medzi relevantnými faktormi prostredia a úrovňou negatívneho pôsobenia extrémnych hodnôt týchto faktorov na dreviny. Napriek tomu, že máme určité poznatky o pôsobení sucha na smrek a aj ostatné dreviny na úrovni fyziológie stromu, chýba nám popísanie prejavov drevín identifikovateľných a merateľných dostupnými a širšie aplikovateľnými metódami. Vzhľadom na zložitosť vzťahov medzi množstvom vody v rastline a v okolitom prostredí nie je možné stanoviť jednoduché kritérium, podľa ktorého by bolo možné hodnotiť, akému veľkému vodnému stresu je strom vystavený. Pri výbere charakteristík stromov ako merateľných indikátorov stresu a zníženej vitality stromu sme vychádzali z predpokladu, že charakteristiky, ktoré vychádzajú zo stavu vody v drevine, napr. transpiračný prúd sú spoľahlivejšie než iba údaje o zrážkach či množstve vody v pôde.

Predpokladáme, že pri nedostatku vody v drevine táto stráca schopnosť ochladzovať najmä oslnenú časť svojej biomasy a dochádza k jej prehrievaniu (Penka, 1985). Zdravý strom, ktorý netrpí deficitom vody by mal chládiť svoje pletivá transpiračným prúdom tak, že nedochádza k výraznejšiemu prehriatiu oslnenej časti oproti zatienenej časti kmeňa. Naopak silne stresovaný až odumierajúci strom trpiaci deficitom vody obmedzuje transpiračný prúd, nedochádza k jeho dostatočnému chladeniu prúdiacou vodou najmä na južnej strane, kde dopadá priame slnečné žiarenie a to má za následok prehriatie pletív, ktoré umocňuje primárny stres z nedostatku vody. Dochádza k postupnej dehydratácii pletív, ktorá po dlhšie trvajúcom prehriatí vedie k trvalému poškodeniu stromu (Penka, 1985, Larcher, 1988).

Na základe doteraz známych poznatkov sme testovali možnosť využitia schopnosti chladenia oslnenej časti kmeňa cez meranie teploty kambia, rýchlosti transpiračného prúdu v kmeni relatívne zdravého a silne poškodeného – stresovaného stromu vo vzťahu k vybraným meteorologickým prvkom a niektorým fyziologicko-biochemickým parametrom asimilačných orgánov (parametre fluorescencie chlorofylu *a*, koncentrácia fotosyntetických pigmentov).

Materiál a metódy

Tento predpoklad sme sa pokúsili overiť priamymi meraniami teploty kambia na južnej a severnej strane kmeňov modelových stromov smreka na výskumnej lokalite Hliníky nachádzajúcej sa na území Lesov mesta Spišská Nová Ves. Pokusná plocha sa nachádza v nadmorskej výške 950 m n.m. Jedná sa o zvyšok 80 ročného rovnorodého smrekového porastu, ktorého väčšia časť bola vyťažená v rámci náhodných ťažieb spôsobených kalamitou podkôrneho hmyzu. Merané boli dva stromy na porastovej stene: zelený, relatívne nepoškodený strom a ešte čiastočne zelený, no evidentne usychajúci strom napadnutý podkôrnym hmyzom. Teplotu kambia sme merali v troch výškach – 2 m nad zemou, 1/2 kmeňa medzi zemou a výškou nasadenia koruny a 1/2-1/3 koruny. Teploty boli merané termočlánkovými ihlami a zaznamenávané digitálne na meraciu ústredňu (fa EMS Brno, Cz) v 5 minútových intervaloch počas vegetačného obdobia. Na pokusnej ploche boli zároveň digitálne merané hodnoty teploty vzduchu, globálneho žiarenia vo výške 2 m nad zemou a hodnoty vodného potenciálu pôdy v hĺbkach 10 a 30 cm.

Na základe výsledkov na dvoch modelových stromoch zeleného a odumierajúceho smreka, prebiehal ďalší výskum transpiračného prúdu 12-tich modelových stromov smreka, ktorý mal poskytnúť poznatky o intenzite transpiračného prúdu v stromoch s rôznym stupňom poškodenia vo vzťahu k defoliácii. Transpiračný prúd bol sledovaný kontinuálnym meraním metódou tepelnej bilancie (fa EMS Brno, Cz).

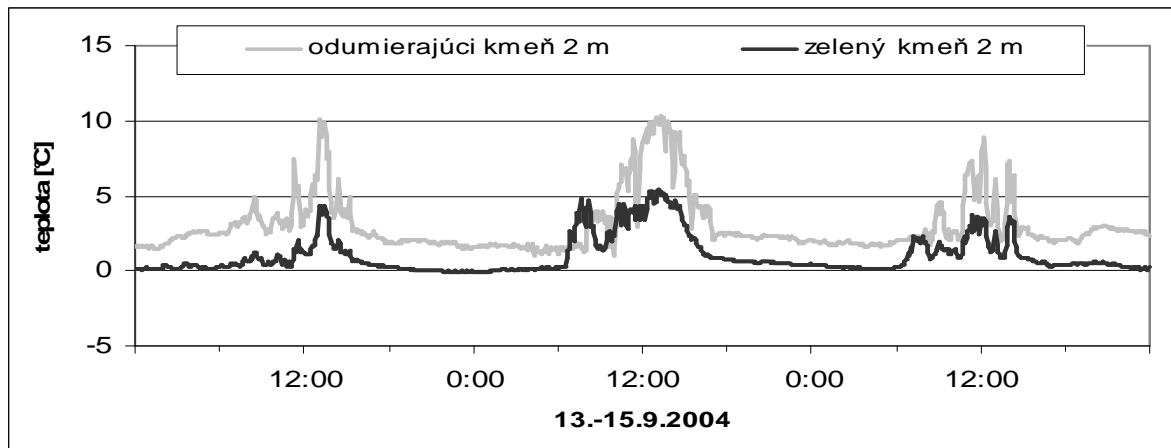
Na dvoch konároch každého vzorníka smreka (5 jedincov v poraste s akútnymi príznakmi rozpadu) boli merané parametre rýchlej kinetiky fluorescencie chlorofylu *a* priamo na mieste „in situ“, prenosným prístrojom – fluorimetrom *Plant Efficiency Analyser* (PEA, Hansatech Ltd., Kings Lynn, UK). Meranie sa uskutočnilo po 30 minútovej dobe tmavej adaptácie, pri 50 % hladine intenzity nasycujúceho svetla ($2100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a 1-sekundovom intervale zaznamenávania údajov (Kmeť, 1999).

Súčasne s meraním parametrov fluorescencie chlorofylu *a* boli odoberané vzorky jednoročných ihlíc z jednotlivých vzorníkov dospelých smrekov za účelom stanovenia koncentrácie asimilačných pigmentov (chlorofyl *a*, *b*, karotenoidov a ich vzájomných pomerov). Analýzy asimilačných pigmentov sme uskutočnili z 80 % vodného roztoku acetónu po degradácii vzoriek ihličia homogenizáciou pri 35 000 n/min. Koncentrácie chlorofylu *a*, *b*, *a+b* i celkového obsahu karotenoidov sme stanovili spektrofotometricky (Cintra 6.5, GBS, Austrália) podľa Lichtenthalera (1987).

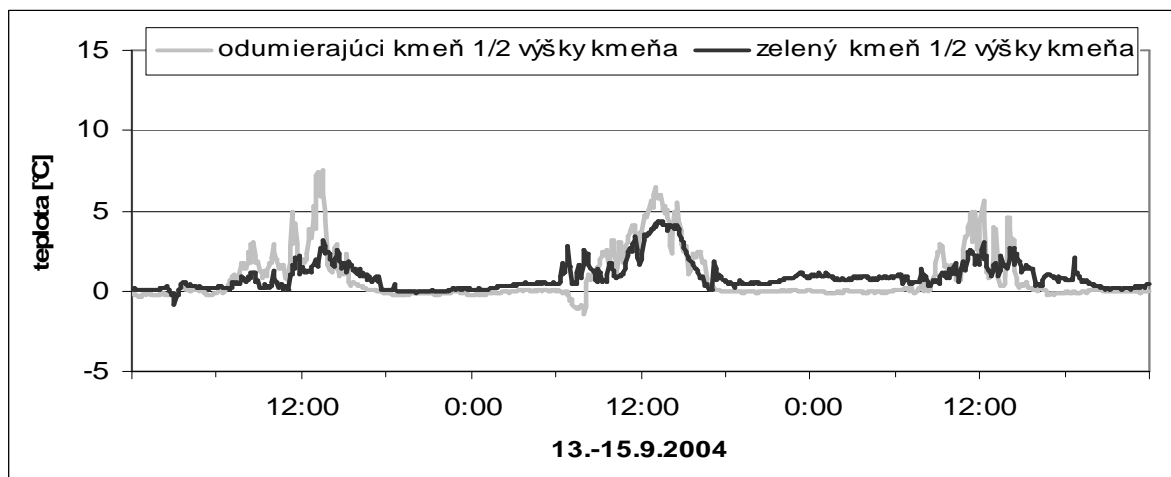
Výsledky a diskusia

Keďže sme na pokusnej ploche v priebehu merania nezaznamenali významnejší výskyt sucha, nemáme k dispozícii výsledky reakcie smreka priamo na nedostatok vody v pôde. Avšak skutočnosť, že sa medzi sledovanými stromami nachádzali jedince s výrazne zníženou vitalitou, napadnuté podkôrnym hmyzom, nám umožňuje zachytiť rozdiely medzi správaním sa zdravých a stresovaných stromov, u ktorých je transport vody vodivými pletivami evidentne obmedzený v dôsledku napadnutia podkôrnym hmyzom.

Diferencie teploty medzi južnou a severnou časťou kmeňa vo vybranom období 13.-15. 9. 2004 sú prezentované na obr. 1 a 2. Hodnoty namerané v najvrchnejšej úrovni sme nepoužili preto, že v tejto výške sme pravdepodobne kvôli tieneniu kmeňa korunou nezaznamenali výrazné diferencie teplôt medzi oslnenou a zatienenou stranou kmeňa.

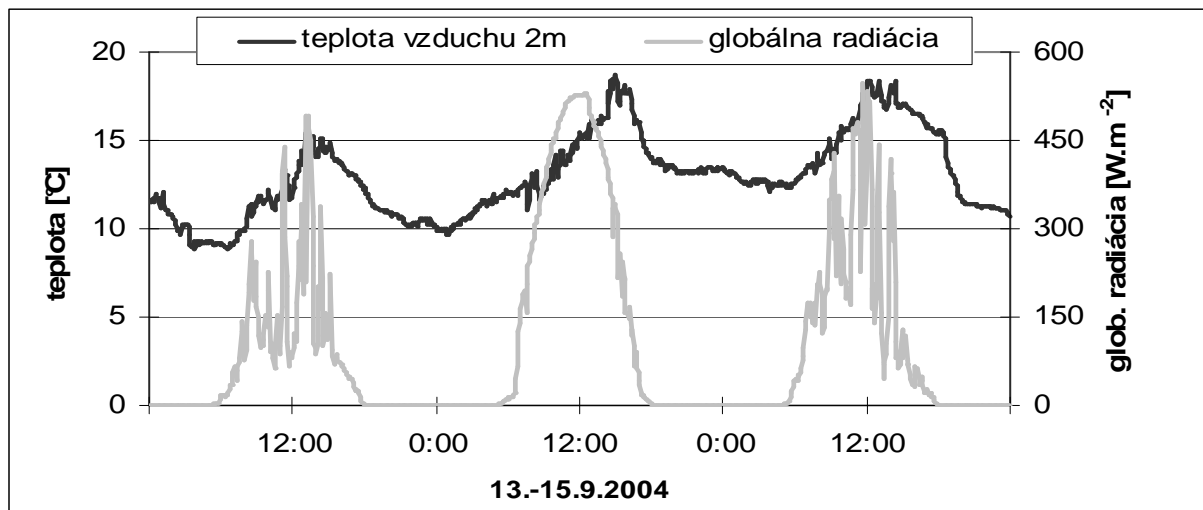


Obr. 1 Diferencie medzi teplotou kambia na južnej a severnej strane kmeňa odumierajúceho a zeleného stromu vo výške 2 m nad zemou v lokalite Spiš – Hliníky.

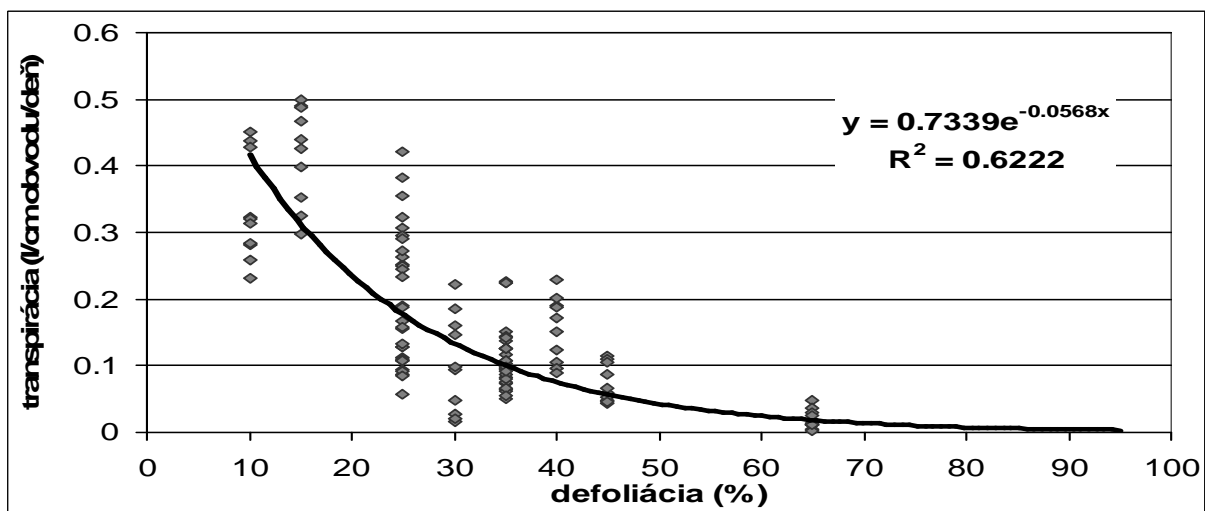


Obr. 2 Diferencie medzi teplotou kambia na južnej a severnej strane kmeňa odumierajúceho a zeleného stromu vo výške 1/2 výšky kmeňa nad zemou v lokalite Spiš – Hliníky.

Priebeh teploty vzduchu a globálnej radiácie vo výške 2 m podáva obrázok číslo 3. Krivky globálneho žiarenia naznačujú, že prezentované dni 13. a 15. 9. 2004 sú charakteristické premenlivou kopovitou oblačnosťou a deň 14. 9. 2004 bol jasný bezoblačný. Výrazne vyššie diferencie teplôt medzi južnou a severnou časťou kmeňa sa prejavili v kambiu odumierajúceho smreka a to najmä počas jasného dňa. Zatiaľ čo diferencie teploty juh – sever v kambiu zdravého stromu vo výške 2 m nad zemou dosahovali v poludňajších hodinách hodnoty do 5°C, v kambiu odumierajúceho stromu to bolo až do 10°C (obr. 1). Diferencie juh – sever v kambiu vo výške 1/2 kmeňa nad zemou boli v prípade obidvoch stromov nižšie z dôvodu tienenia kmeňa korunou, avšak aj napriek tejto skutočnosti sa pri usychajúcom strome prejavila vyššia hodnota diferencí medzi južnou a severnou časťou kmeňa v priemere o 2°C počas sledovaného obdobia (obr. 2). Uvedené fakty potvrdzujú predpoklad, že pri vodnom strese drevina nedokáže dostatočne chladiť svoje pletivá tokom vody, ktorý je redukovaný.



Obr. 3 Teplota vzduchu a globálna radiácia vo výške 2 m nad zemou v lokalite Spiš – Hliníky.



Obr. 4 Intenzita transpiračného prúdu v závislosti od defoliácie

Výsledky merania rýchlosti transpiračného prúdu jednoznačne poukazujú na významný negatívny vzťah medzi stupňom defoliácie a intenzitou transpirácie sledovaných stromov (obr. 4). Po vyhodnotení tohto výskumu predpokladáme, že bude možné potvrdiť vhodnosť využitia týchto závislostí ako indikátora vodného stresu drevín. Nakoľko výskum zmien obvodu kmeňa a transpiračného prúdu sa začal vo vegetačnom období v roku 2005 a výraznejšie suché obdobie sa zatiaľ nevyskytlo, nezaznamenali sme priamu reakciu stromov na suchu. Stromy reagovali len na defoliáciu, výskyt zrážok a zhoršenie zdravotného stavu stromu spôsobené podkôrnym hmyzom. Aj tieto predbežné výsledky však potvrdzujú očakávané a v iných prácach (napr. Tardif *et al.* 2001, Sevanto, 2003) už overené reakcie drevín na denný chod hodnôt základných meteorologických prvkov a správanie sa silne stresovaného stromu.

Na základe zhodnotenia základného parametra fluorescencie chlorofylu *a* pomeru variabilnej a maximálnej fluorescencie (F_v/F_m) môžeme konštatovať postupne zhoršujúci sa fyziologický stav zostávajúceho asimilačného aparátu vybraných dospelých jedincov smreka (hodnota F_v/F_m pod 0,725 poukazuje na fyziologické poruchy). V tabuľkách 1 a 2 sú zvýraznené hodnoty daného parametra fluorescencie chlorofylu *a*, ktoré sú už v oblasti fyziologických porúch. Hodnota 0,294 (tab. 2, smrek č. 38) ukazuje na ireverzibilné poškodenie ihlič, ktoré postupne vedie k ich odumretiu a predčasnému

opadu. Zistené výsledky potvrdzujú, že na lokalite Hliníky dochádza po predchádzajúcom fyziologickom poškodení ihlíc dospelých jedincov smreka k ich rýchlej defoliácii a ostávajúci asimilačný aparát, aj napriek tomu, že fotosyntetizuje, nedokáže zásobovať daný strom potrebnými organickými látkami. To potvrdili aj naše výskumy v rokoch 2004 – 2005, s výrazným vplyvom obdobia so zrážkovým deficitom (rok 2004). Tomu odpovedajú aj hodnoty rýchlosti transpiračného prúdu a tiež teploty kambia, ako dôsledok prehrievania stromov. Podobné hodnoty parametrov rýchlej fázy fluorescencie chlorofylu *a* v ihliciach dospelých jedincov smreka namerali aj autori Bolhar-Nordenkampf a Götzl (1992).

Tab. 1 Vybrané parametre fluorescencie chlorofylu *a* v jednoročných ihliciach dospelých smrekov na ploche s akútnymi príznakmi rozpadu daného porastu
Lokalita: Horný Spiš – Hliníky (Mestské lesy Spišská Nová Ves)
Dátum merania: 10. 6. 2004
Ročník ihlíc: 2003

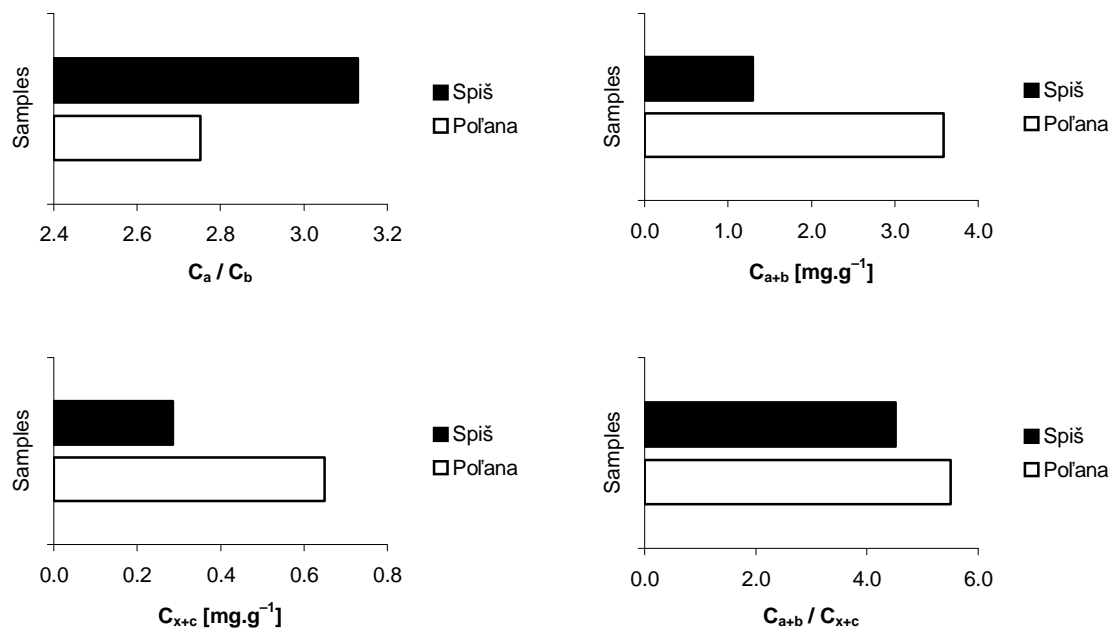
Smrek č.	Parametre fluorescencie chlorofylu <i>a</i>					
	F_0	F_m	F_v	F_v/F_m	T_m	Area
3	0,214	0,764	0,550	0,712	0,0524	0,216
32	0,208	0,946	0,738	0,780	0,0387	0,304
36	0,276	1,446	1,170	0,808	0,0389	0,306
37	0,256	1,386	1,130	0,812	0,0424	0,404
38	0,180	0,962	0,781	0,812	0,0468	0,338

Tab. 2 Vybrané parametre fluorescencie chlorofylu *a* v jednoročných ihliciach dospelých smrekov na ploche s akútnymi príznakmi rozpadu daného porastu
Lokalita: Horný Spiš – Hliníky (Mestské lesy Spišská Nová Ves)
Dátum merania: 27. 9. 2004
Ročník ihlíc: 2003

Smrek č.	Parametre fluorescencie chlorofylu <i>a</i>					
	F_0	F_m	F_v	F_v/F_m	T_m	Area
3	0,220	0,750	0,530	0,710	0,0974	0,254
32	0,147	0,558	0,411	0,737	0,0984	0,296
36	0,271	1,320	1,050	0,794	0,0962	0,653
37	0,180	0,694	0,514	0,726	0,0962	0,245
38	0,256	0,360	0,104	0,294	0,0856	0,0610

Na základe zhodnotenia získaných výsledkov koncentrácie chlorofylu u skúmaných vzorníkov v rámci lokality Hliníky a ich porovnania s výskumnou plochou na Prednej Poľane, kde sú stabilné smrekové porasty môžeme konštatovať, že na zaťaženej lokalite v oblasti Spiša boli zistené výrazne nižšie koncentrácie chlorofylu v porovnaní s kontrolnou lokalitou na Poľane (obr. 5), čo je v súlade s poznatkami iných autorov (Matyssek *et al.*, 1993, Mikkelsen *et al.*, 1996), ktorí uvádzajú, že s rastúcim priemerným stupňom poškodenia porastu klesá obsah chlorofylu i rýchlosť fotosyntézy a stúpajú hodnoty pomeru C_a/C_b .

Zároveň i môžeme konštatovať stúpajúce hodnoty pomeru C_a/C_b na zaťaženej lokalite (Spiš) v porovnaní s kontrolnou plochou na Poľane. Pokles koncentrácie chlorofylu predstavuje „nižší potenciál“ pre fotosyntetické procesy a tým i produkciu daného porastu. Uvedené zistenie svedčí o horšom fyziologickom stave skúmaných vzorníkov v oblasti Spiša v porovnaní s kontrolnou lokalitou na Poľane.



Obr. 5 Priemerné hodnoty koncentrácie chlorofylu C_{a+b} (mg.g⁻¹), pomeru C_a/C_b , koncentrácie karotenoidov C_{x+c} a pomeru C_{a+b}/C_{x+c} na dvoch lokalitách s rozdielnym výskytom poškodenia smrekových porastov (Spiš – zaťažená lokalita, Poľana – kontrolná plocha)

Podľa Lichtenthalera (1985) sa u zdravých stromov (najmä smrekov a jedlí) pohybujú hodnoty pomeru chlorofylu ku karotenoidom ($a+b/x+c$) v rozmedzí 5-8, čo zodpovedá i našim zisteniam najmä na kontrolnej ploche na Poľane. Ak sú stromy pod vplyvom stresových faktorov, potom sa dané hodnoty pomeru môžu pohybovať okolo hodnôt 3-5, pričom ihlice môžu mať ešte zelenú farbu. V žlto-zeleno sfarbených ihliciach sa nachádzajú pod hodnotou 3 a často medzi 1-2. To znamená, že u týchto stromov sa vyskytuje zvýšená fotolabilita asimilačných pigmentov v zelených i žlto-zelených ihliciach. Pomery pigmentov je možné teda využívať ako ďalší biomarkér poškodenia, ktorý nám poukazuje na to, či je fotosyntetický aparát pod vplyvom stresu alebo už silno poškodený. V našom prípade na zaťaženej lokalite v oblasti Spiša boli zistené nižšie hodnoty pomeru C_{a+b}/C_{x+c} v porovnaní s kontrolnou plochou na Poľane.

Súhrn

Stres suchom alebo náhlym ožiarением na porastovej stene je považovaný za jeden z hlavných iniciátorov ďalšieho rozpadu smrekových porastov. Pre identifikáciu porastov, prípadne aj jednotlivých stromov stresovaných suchom alebo náhlym ožiarением na porastovej stene potrebujeme poznať vzťah medzi relevantnými faktormi prostredia a úrovňou negatívneho pôsobenia extrémnych hodnôt týchto faktorov na dreviny.

Výsledky potvrdzujú predpokladaný negatívny vplyv defoliácie stromov na ich schopnosť transpirácie, a tým pravdepodobne aj na schopnosť chladenia svojich orgánov. V zostávajúcej mase ihlíc dospelých smrekov je nízka úroveň fotosyntetického procesu a preto zásobovanie jednotlivých jedincov smreka asimilátmi je nedostatočné. Tiež antioxidantný systém smrekových ihlíc je oslabený (veľmi nízka koncentrácia karotenoidov) a tým je súčasne zvýšená citlivosť na photochilling.

Kľúčové slová: sucho, ekofyziológia, stresová fyziológia, smrek obyčajný

Práca vznikla s podporou grantových vedeckých projektov VEGA č. 2/4159/04, č. 1/2357/05 a projektu APVV-51-019302.

Literatúra

- Bolhar-Nordenkampf, H. R., Götzl, M., 1992: Chlorophyllfluoreszenz als Indikator der mit der Seehöhe zunehmenden Stressbelastung von Fichtennadeln. FBVA-Berichte 67: 119 – 131.
- Kmeť, J., 1999: Fluorescencia chlorofylu ako indikátor stresového zaťaženia drevín a jej aplikácia v lesníctve. Vedecké štúdie 3/1999/A, TU Zvolen, 67 s.
- Larcher, W., 1988: Fyziologická ekologie rostlin. Academia, Praha, 361 s.
- Lichtenthaler, H. K., 1985: Stand der Ursachenforschung des Waldsterben aus der Sicht des Pflanzenphysiologen. In: Baden-Württembergischer Forstverein. Berichte der Hauptversammlung 22: 51 – 65.
- Lichtenthaler, H. K., 1987: Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. Methods in enzymology 148: 350 – 382.
- Matyssek, R., Keller, T., Koike, T., 1993: Branch growth and leaf gas Exchange of *Populus tremula* exposed to low ozone concentrations throught two growing seasons. Environ Pollut 79: 1 – 7.
- Mikkelsen, N. T., Heide-Jorgensen, H. S., 1996: Acceleration of leaf senescence in *Fagus sylvatica* L. by low levels of troposferic ozone demonstrated by leaf colour, chlorophyll fluorescence and chloroplast ultrastructure. Trees 10: 145 – 156.
- Penka, M., 1985: Transpirace a spotřeba vody rostlinami. Academia, Praha, 250 s.
- Sevanto, S., 2003: Tree stem diameter change measurements and sap flow in Scots pine. Academic dissertation, University of Helsinki, Faculty of Science, Finland, 25 pp.
- Tardif, J., Flannigan, M., Bergeron, Y., 2001: An analysis of the daily radial activity of 7 boreal tree species, Northwestern Quebec. In: Environmental Monitoring and Assessment 67: 141 – 160.

Kontaktná adresa:

Doc. Ing. Jaroslav Kmeť, PhD., Katedra fytoľógie, Lesnícka fakulta Technickej univerzity, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, č.t.: 045 5206228, č. faxu: 045 5332654, e-mail: kmet@vsld.tuzvo.sk
