

Vybrané prvky mikroklimy porastu a fyziologický stav buka (*Fagus sylvatica* L.) a smreka (*Picea abies* Karst. L.) v oblasti Prednej Poľany

Stand microclimate and physiological state of common beech (*Fagus sylvatica* L.)
and Norway spruce (*Picea abies* Karst. L.) at Predna Polana

Ľ. DITMAROVÁ ⁽²⁾, J. KMEŤ ⁽¹⁾ and K. ŠTRÉLCOVÁ ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, Slovenská republika (e-mail: kmet@vsld.tuzvo.sk)

⁽²⁾ Ústav ekológie lesa SAV, Zvolen, Slovenská republika (e-mail: ditmarova@sav.savzv.sk)

Abstract The study focuses on the use of selected physiological parameters appropriate for a detailed analysis of the causes of deteriorating health of montane forest ecosystems for bioindication and the assessment of the effect of changing environment on growth and yield processes of common beech (*Fagus sylvatica* L.) and spruce (*Picea abies* Karst. L.) in the National Nature Reserve Zadná Poľana (permanent experimental plot Predná Poľana).

During the vegetation seasons 2005, were measured chlorophyll a fluorescence parameters and assessed the concentrations of assimilatory pigments in leaves and needles of selected sample trees of beech and spruce. These physiological parameters were related to forest stand microclimate (air temperatures, intensity of solar radiation, precipitation).

Key words: spruce, beech, physiological processes, stand microclimate

Úvod

Na fyziologické procesy u lesných drevín vplyvajú okrem vývojových a genetických faktorov najmä ekologické vplyvy. Nepriaznivé podmienky prostredia môžu za určitých okolností spomaľovať ich životné funkcie, prípadne poškodzovať jednotlivé orgány a nadobúdať tak stresový charakter. V podmienkach horského smrekového lesa sa často stretávame so spolupôsobením viacerých stresových faktorov súčasne (napr. silné žiarenie, vysoká teplota, nedostatok vody). Interakcie medzi nimi môžu podstatne meniť charakter stresovej reakcie v porovnaní s pôsobením každého faktora oddelene. Odozvu na pôsobenie faktorov prostredia môžeme nájsť v konkrétnom fyziologickom procese.

Cieľom príspevku je analyzovať vplyv vybraných prvkov mikroklimy porastu (teplota vzduchu, intenzita slnečného žiarenia, zrážky), v rámci horského lesného ekosystému v oblasti Prednej Poľany, na vybrané fyziologické parametre (asimilačné pigmenty) a stanoviť možnú stresovú odozvu i na základe analýzy fluorescencie chlorofylu *a*.

Materiál a metódy

Výskum bol realizovaný na lokalite, ktorá sa nachádza v hrebeňovej časti prírodnej rezervácie Zadná Poľana v oblasti Predná Poľana s nadmorskou výškou 1347 m n. m. v priebehu roka 2005.

Tabuľka 1 Charakteristika výskumného objektu Predná Poľana

Miesto	Predná Poľana (stožiar) (porast 530a)
Zemepisná dĺžka	19° 28'
Zemepisná šírka	48° 37'
Nadmorská výška	1347 m n. m.
Expozícia	južná
Lesná správa	Očová
Lesný závod	Kriváň
Sklon	5 – 25 %
Reliéf terénu	vrcholová roveň, mierny svah, balvanitý
Geologický podklad	vulkanity
Pôdne pomery	andezeme
Priemerná ročná teplota	3,5 – 4,0 °C
Priemerný ročný zrážkový úhrn	900 – 1100 mm
Klimatická oblasť	chladná, horská
Lesný vegetačný stupeň	7
Klimageografický typ	Horská klíma, subtyp studená
Skupiny lesných typov	Sorbeto – Piceetum Acereto – Piceetum
Priemerný vek porastov (530 a)	190 rokov
Zastúpenie drevín	Sm – 93 %, bk – 4 %, jr – 3 %

Priemerné ročné teploty vzduchu na území biosférickej rezervácie sú 3 až 5°C, absolútne maximálne 24 až 28°C a minimálne -22 až -27°C. Najchladnejšími mesiacmi sú január a február s priemernou teplotou vzduchu -5°C, najteplejšími júl a august (14°C). Priemerne za rok sa vyskytujú 4 letné, 164 mrazových a 75 ľadových dní. Relatívna vlhkosť vzduchu v ročnom priemere je 79%, najnižšia je v júli (72%), najvyššia v zimných mesiacoch (83%). Priemerne v roku je 80 dní s hmlou, prevažne v neskorom jeseni a v zime.

Atmosférické zrážky patria medzi najvariabilnejšie meteorologické prvky. Preukazný je nárast ročných úhrnov so stúpajúcou nadmorskou výškou a efekt „zrážkového tieňa“ masívu Poľany v najbližších kotlinových zrážkomerných staniách (ZS) Detva a Očová. Priemerné ročné úhrny zrážok sú 600 až 900 mm, na vrchole Poľany (1458 m n. m.) až 1100 mm. Priemerné zrážkové úhrny sú v rozmedzí 30 až 130 mm. Najvlhkejšími mesiacmi sú máj a jún, najsuchšie sú jesenné mesiace (ŠKVARENINA et al. 2002).

Lesné porasty národnej prírodnej rezervácie patria do 7. smrekového vegetačného stupňa, skupiny lesných typov: *Sorbeto-Piceetum*, *Acereto-Piceetum*. Smrek tu má dobré rastové schopnosť vo vrcholovej časti sa vytvorila zvláštna stĺpcovitá forma smreka s typickou úzkou, valcovitou korunou (JEŽÍK, ŠTRÉLCOVÁ 2005).

V priebehu vegetačného obdobia 2005 sme zo 6 dospelých vzorníkov smreka a 6 dospelých vzorníkov buka odoberali vzorky asimilačných orgánov (v prípade ihlič ročník 2004) na analýzy asimilačných pigmentov. V štyroch termínoch počas sezóny boli u vzorníkov buka urobené i merania fluorescence chlorofylu *a*.

Analýzy asimilačných pigmentov

Vo vzorkách asimilačných orgánov smreka a buka boli stanovované koncentrácie fotosyntetických pigmentov (chlorofyl *a*, *b*, celkový obsah karotenoidov a ich vzájomné pomery). Analýzu chlorofylu a karotenoidov sme robili z 80%-ného vodného roztoku acetónu po zhomogenizovaní vzoriek ihlič na homogenizátore. Hodnoty absorbancie boli merané spektrofotometricky (UV VIS spektrofotometer Cintra 6.5, GBS, Austrália), pričom na výpočet koncentrácie fotosyntetických pigmentov sme použili upravené vzťahy podľa LICHTENTHALERA(1987). Koncentrácie chlorofylu *a*, *b*, *a+b* a karotenoidov *x+c* sú udávané na hmotnostnú jednotku sušiny (mg.g⁻¹).

Analýzy fluorescence chlorofylu *a*

Na piatich dospelých vzorníkov buka bola v roku 2005 sledovaná sezónna dynamika parametrov rýchlej i pomalej fázy fluorescence chlorofylu *a*.

Na meranie parametrov rýchlej fázy fluorescence chlorofylu *a* bol použitý fluorimeter PEA (*Plant Efficiency Analyser*, Hansatech Ltd., Kings Lynn, UK). Po polhodinovej adaptácii na tmu je vzorka ožiarená saturačným impulzom o intenzite 2100 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (stanovené predbežnými pokusnými meraniami). Pri ďalšom zvýšení intenzity

ožiarenia už vzorka nereaguje zvýšením maximálnej fluorescence a dlhším zatienením sa neznižuje hodnota minimálnej fluorescence. V priebehu rýchlej fázy sú sledované tieto parametre: F_0 – minimálna fluorescence, F_m – maximálna fluorescence, F_v – variabilná fluorescence, F_v/F_m – maximálna fotochemická efektívnosť fotosystému II (PSII), T_m – čas, v ktorom bola dosiahnutá maximálna fluorescence, Area – plocha nad fluorescenčnou krivkou vyjadrujúca veľkosť zásoby akceptorov elektrónov na redukujúcej strane PSII.

Súčasne na tých istých konároch dospelých jedincov buka boli fluorimetrom FMS 2 (*Fluorescence Monitoring System*, Hansatech Ltd., Kings Lynn, UK) merané parametre pomalej kinetiky fluorescenčnej krivky. Sledované boli nasledujúce parametre: F_s – fluorescence ustáleného stavu, F_m' – maximálna fluorescence na svetle, ΦPSII – aktuálna fotochemická výkonnosť fotosystému II.

Meraná bola aj aktuálna fotosynteticky aktívna radiácia – FAR v $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ a teplota vzduchu (prístrojom Quantitherm QRT 1, Hansatech Ltd., Kings Lynn, UK).

Štatistické analýzy. Pri matematicko-štatistickom spracovaní výsledkov sme použili jednoduchú lineárnu koreláciu v programe STATISTICA 5.5. V rámci analýzy sme sledovali vplyv známeho faktora (teplota vzduchu, globálna radiácia, zrážky) na zistené koncentrácie chlorofylu (chl *a+b*, Car *x+c*) a ich vzájomné pomery (chl *a/b*, chl *a+b/car x+c*).

Výsledky a diskusia

V priebehu vegetačného obdobia roku 2005 boli na výskumnej ploche na Prednej Poľane kontinuálne sledované mikroklimatické charakteristiky (teplota vzduchu, globálna radiácia a zrážky – obr. 1), zároveň boli odoberané asimilačné orgány dospelých jedincov smreka i buka na analýzy fotosyntetických pigmentov. V štyroch termínoch danej sezóny boli u vzorníkov buka urobené merania parametrov fluorescence chlorofylu *a*.

Z klimatologického hľadiska možno vegetačné obdobie roku 2005 hodnotiť ako typické pre dané horské polohy (obr. 1). Všetky mesiace vegetačného obdobia boli zrážkovo normálne až nadnormálne, okrem júna, ktorý bol extrémne suchý (spadlo 47 mm, čo je len 36 % z dlhodobého priemeru). Vlhkosť pôdy bola však aj v priebehu tohto mesiaca dostatočná vzhľadom na dostatok zrážok v apríli a máji a relatívne chladné počasie v júni.

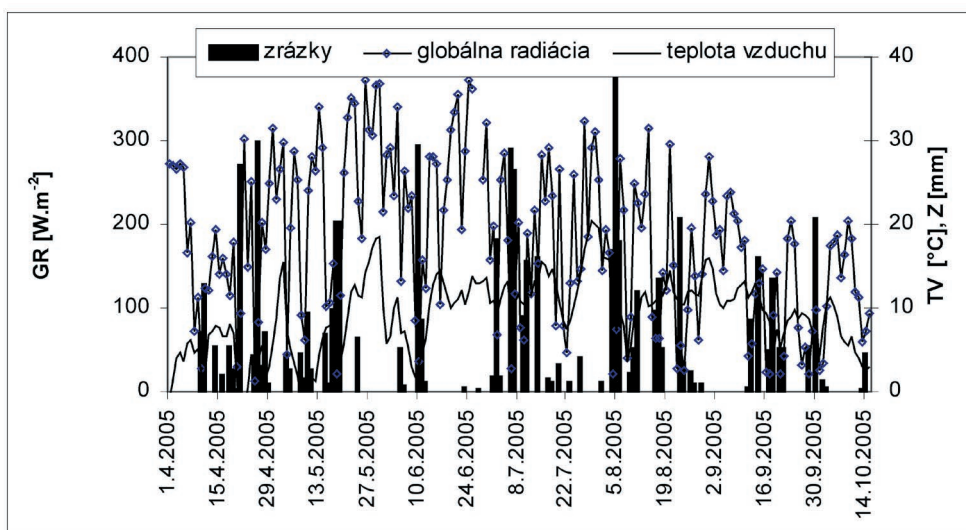
V priebehu sezóny 2005 bol u vzorníkov smreka a buka sledovaný obsah asimilačných pigmentov. Zistené koncentrácie chlorofylu u vzorníkov buka sa pohybovali v rozmedzí hodnôt 3,26–5,44 mg.g⁻¹. Najvyššie hodnoty koncentrácie chlorofylu boli zaznamenané uprostred sezóny (augustový odber) a to 5,44 mg.g⁻¹, čo predstavuje typický sezónny priebeh. Pomery chlorofylu *a/b* vykazovali v priebehu sezóny pomerne vyrovnané hodnoty (2,58–2,72), podobne i celkový obsah karotenoidov. Sezónna dynamika pomeru Chl/Car sa vyznačovala júlovým a septembrovým

maximom, ku koncu sezóny dochádza k poklesu hodnôt pomeru (Obr.1).

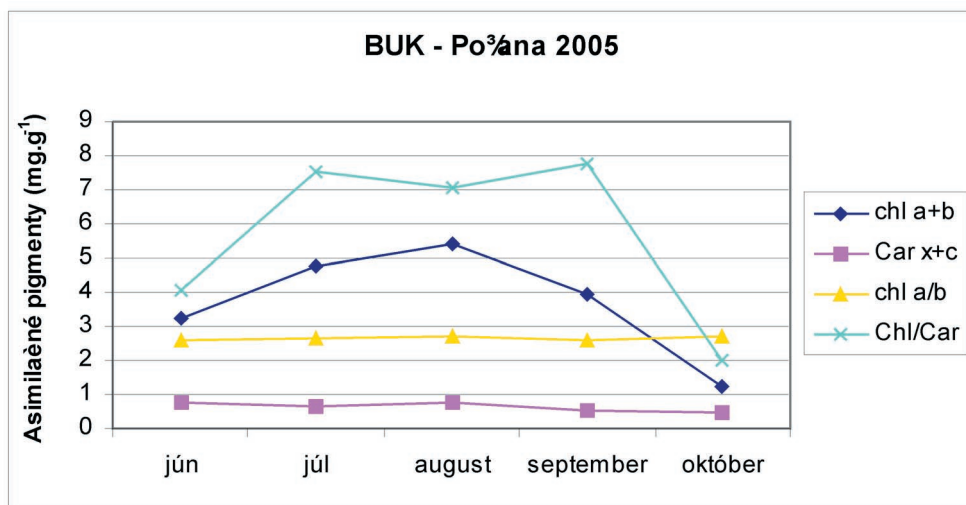
U smreka bola pozorovaná o niečo odlišná situácia. Hodnoty koncentrácie celkového obsahu chlorofylu v priebehu sezóny sa pohybovali v rozmedzí 3,26 - 4, 81mg.g⁻¹, maximálne hodnoty boli zaznamenané pri septembrovom odbere. Ostatné sledované parametre vykazovali pomerne vyrovnaný priebeh až na mierny pokles pomeru Chl/Car ku koncu sezóny (Obr. 2).

Viacerí autori uvádzajú (napr. MATYSSEK et al. 1993), že so zhoršovaním fyziologického stavu ihličiek obsah chlorofylu i rýchlosť fotosyntézy klesá a stúpajú hodnoty pomeru chl a/chl b. Naopak pomer chl a+b/car x+c so zhoršovaním

fyziologického stavu klesá. Podľa LICHTENTHALERA (1985) sa u zdravých stromov (najmä smrekov a jedlí) pohybujú hodnoty pomeru chlorofylov ku karotenoidom ($a+b/x+c$) v rozmedzí 5-8. 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-zelenosfarbených ihliciach sa nachádzajú pod hodnotou 3 a často medzi 1-2. V našom prípade neboli zaznamenané výrazné výkyvy medzi pomermi asimilačných pigmentov u sledovaných drevín v rámci výskumnej plochy na Prednej Poľane a nebol pozorovaný ani extrémny vzrast hodnôt pomeru (u chlorofylov) ani extrémny pokles u pomeru chlorofylov ku karotenoidom.



Obrázok 1 Priebeh klimatických charakteristík - priemernej dennej intenzity globálnej radiácie (GR), priemernej dennej teploty vzduchu (TV) a denného úhrnu zrážok (Z) na Prednej Poľane vo vegetačnom období roku 2005



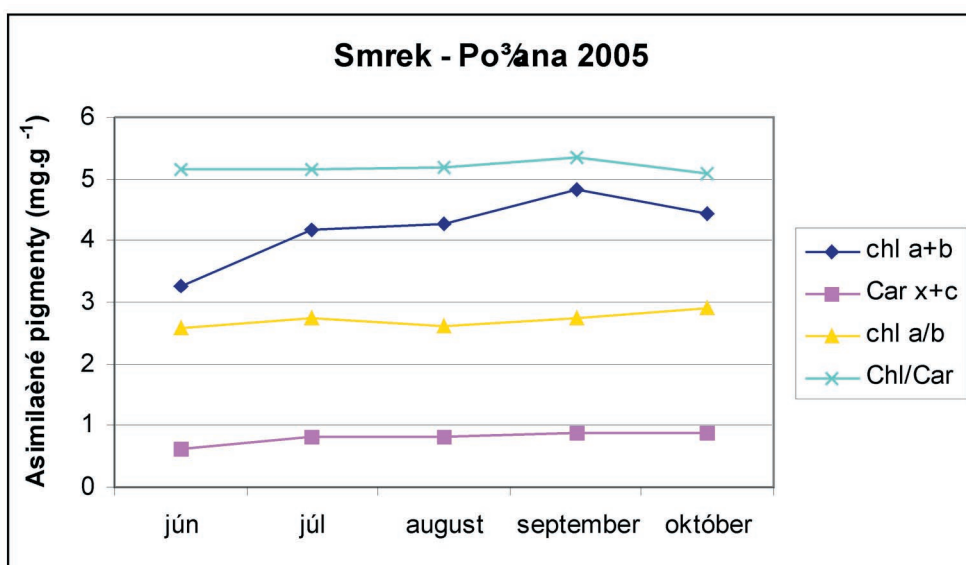
Obrázok 2 Sezónna dynamika asimilačných pigmentov v listoch buka (*Fagus sylvatica*) v rámci pokusnej plochy na Prednej Poľane počas vegetačného obdobia roku 2005.

Je všeobecne známe, že na obsah fotosyntetických pigmentov v asimilačných orgánoch (listoch i ihliciach) vplyvajú vo významnej miere environmentálne faktory a to najmä žiarenie (DEMING-ADAMS *et al.* 1996) a teplota vzduchu (SEIFERMANN-HARMS 1994). U listnatých drevín poklesu chlorofylu v jesennom období bezprostredne predchádzajú i zrážky alebo dostatočne vlhké obdobie. Obsah karotenoidov v priebehu vegetácie kopíruje obsah chlorofylu, avšak obsah karotenoidov v posledných fázach žltnutia je relatívne vyšší ako obsah chlorofylu (skôr nastáva degradácia chlorofylu ako karotenoidov, listy preto ožltnú alebo očervenejú). V literatúre sa poradie závažnosti vplyvu klimatických faktorov na pigmenty uvádza takto: teplota vzduchu, slnečný svit, globálne žiarenie a zrážky (KIRCHGESSNER *et al.* 2003).

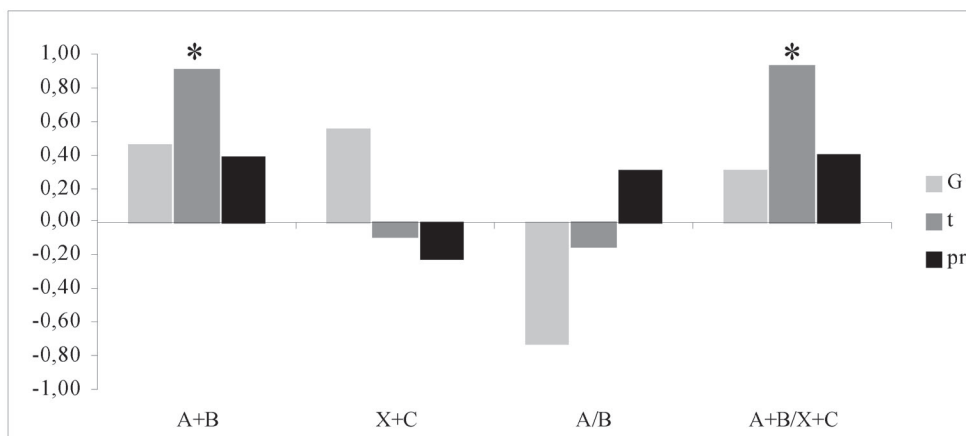
V rámci korelačnej analýzy bol sledovaný vplyv globálnej radiácie, teploty vzduchu a zrážok na zistené hodnoty koncentrácie chlorofylu, karotenoidov a ich vzájomných pomerov u vybraných vzorníkov buka i smreka.

U vzorníkov buka bola zistená významná závislosť medzi teplotou vzduchu a celkovým obsahom chlorofylu i teplotou vzduchu a pomerom chlorofylu ku karotenoidom. Vo všeobecnosti je možné konštatovať, že tvorba chlorofylu je v kladnej korelácii s teplotou vzduchu, pokiaľ nepresahuje isté okrajové hodnoty charakteristické pre daný druh.

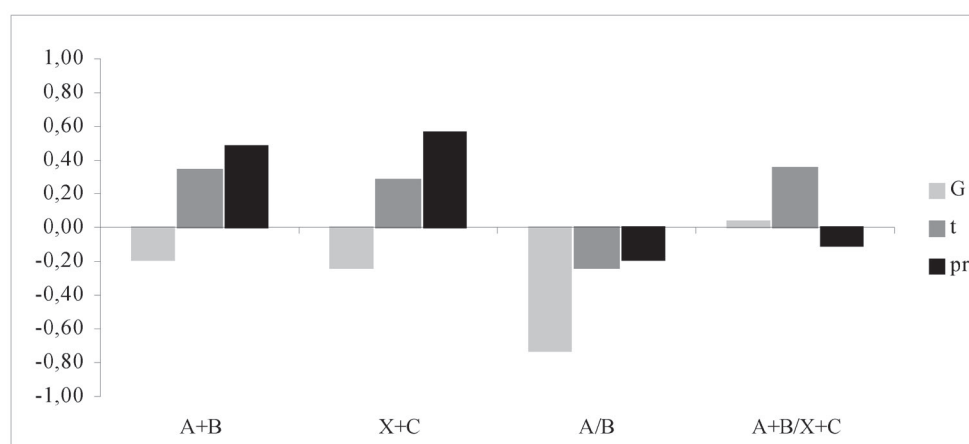
Čo sa týka korelačnej analýzy medzi asimilačnými pigmentami a vybranými prvkami mikroklimy u vzorníkov smreka, nebola zaznamenaná významná závislosť ani v jednom prípade.



Obrázok 3 Sezónna dynamika asimilačných pigmentov v ihliciach smreka (*Picea abies* Karst. L.) v rámci pokusnej plochy na Prednej Poľane počas vegetačného obdobia roku 2005.



Obrázok 4 Korelačná analýza (jednoduchá lineárna korelácia) medzi asimilačnými pigmentami (A+B - chlorofyl *a+b*, X+C - karotenoidy *x+c*, A/B - pomer chlorofylu *a* ku chlorofylu *b*, A+B/X+C - pomer medzi chlorofylmi a karotenoidmi) v listoch buka a prvkami mikroklimy porastu (G - globálna radiácia, t - teplota vzduchu, pr - zrážky). * - významná závislosť je definovaná ako $P < 0,05$.



Obrázok 5 Korelačná analýza (jednoduchá lineárna korelácia) medzi asimilačnými pigmentami (A+B - chlorofyl *a+b*, X+C -karotenoidy *x+c*, A/B - pomer chlorofylu *a* ku chlorofylu *b*, A+B/X+C - pomer medzi chlorofylmi a karotenoidmi) v listoch buka a prvkami mikroklimy porastu (G – globálna radiácia, t – teplota vzduchu, pr – zrážky).
* - signifikantná závislosť je definovaná ako $P < 0,05$.

Rýchle meranie fluorescence a jej analýza sú v súčasnosti široko využívané pre skríning na odolnosť voči rôznym stresovým faktorom.

Jedným zo základných parametrov fluorescence je maximálny kvantový výťažok fotochémiie F_v/F_m . Je známy fakt, že kvantový výťažok fotochémiie je menej citlivý na vodný stres (FRACHEBOUD, LEIPNER 2003). Teplotný stres (ako vysoké tak aj nízke teploty) však aj v našom prípade (október 2005) vyvolali pokles F_v/F_m na hodnoty 0,778 až 0,506. U buka číslo 1 údaje neboli namerané z dôvodu

predčasného zožltnutia a opadu listov. V našom prípade sa samozrejme jednalo o nižšie teploty.

Vysoká teplota spôsobuje výrazný nárast hodnôt F_0 . V našom prípade sa takéto extrémne nevyskytli (teplota v čase merania sa pohybovala v rozpätí 13,5 – 9,2 °C). Nárast F_0 je pripisovaný odpojeniu svetlozberného komplexu, resp. niektorých jeho subjednotiek od reakčného centra (SRIVASTAVA *et al.* 1997) a je signálom ireverzibilného alebo len čiastočne vratného poškodenia fotosyntetického aparátu (PASTENES, HORTON 1999).

Tabuľka 2 Parametre fluorescence chlorofylu *a* v asimilačných orgánoch buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) na výskumnej ploche na Prednej Poľane

Dátum merania	Strom číslo	Parametre fluorescence chlorofylu <i>a</i>								
		F_0	F_m	F_v	F_v/F_m	T_m	Area	F_s	F_m'	$\Phi PSII$
7. 07. 2005	1	0,341	1,628	1,286	0,790	0,0745	0,708	0,478	1,852	0,734
	2	0,336	1,504	1,168	0,776	0,0952	0,608	0,397	2,379	0,832
	3	0,318	1,477	1,158	0,783	0,0979	0,770	0,440	1,770	0,750
	4	0,357	1,656	1,300	0,784	0,0744	0,510	0,856	2,625	0,673
	5	0,329	1,770	1,440	0,814	0,0680	0,393	0,460	2,568	0,820
21. 07. 2005	1	0,454	2,048	1,594	0,778	0,0812	0,824	0,400	1,988	0,798
	2	0,444	2,242	1,798	0,802	0,0794	0,828	0,448	1,850	0,757
	3	0,350	1,443	1,093	0,756	0,0842	0,510	0,367	1,288	0,608
	4	0,364	1,868	1,504	0,804	0,0692	0,478	0,416	2,192	0,810
	5	0,348	1,701	1,352	0,795	0,0668	0,536	0,528	1,934	0,726
10. 08. 2005	1	0,146	1,052	0,815	0,775	0,0612	0,510	0,316	1,506	0,790
	2	0,159	1,099	0,890	0,810	0,0415	0,590	0,316	1,506	0,790
	3	0,134	0,910	0,746	0,820	0,0818	0,635	0,355	1,506	0,766
	4	0,160	1,062	0,814	0,766	0,0590	0,411	0,360	1,907	0,810
	5	0,140	1,023	0,798	0,780	0,0480	0,390	0,366	1,954	0,812
7. 10. 2005	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	0,466	2,100	1,634	0,778	0,0860	0,486	0,512	1,832	0,740
	3	0,433	1,704	1,272	0,746	0,0944	0,430	0,415	1,653	0,712
	4	0,195	0,701	0,506	0,506	0,0656	0,106	-	-	-
	5	0,302	1,472	1,170	0,794	0,0987	0,253	0,834	1,912	0,720

Aj ďalšie parametre fluorescencie chlorofylu *a* poukazujú na to, že dané jedince bukov netrpeli stresom spojeným s vážnejšími poruchami fotochémiie - fotoinhibíciou fotosyntézy, maximálna fotochemická efektívnosť PSII – F_v/F_m neklesla až na ojedinelý prípad v októbri daného roku pod 0,725 (CRITCHLEY 2000). Tieto zmeny súvisia predovšetkým s excesom žiarenia, čo sa v našom prípade nepotvrdilo (hodnoty FAR v čase merania fluorescencie chlorofylu *a* sa pohybovali v rozpätí 15 až 90 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

V tomto príspevku síce uvádzame len výsledky z roku 2005, podobný trend však bol zistený aj v predchádzajúcich rokoch 2003 a 2004, čo potvrdzuje v podstate dobrú fyziologickú konštitúciu buka v danej oblasti (viď tiež výsledky koncentrácií asimilačných pigmentov).

Záver

Nakoľko podmienky prostredia v rámci výskumnej plochy na Prednej Poľane v priebehu vegetačného obdobia roku 2005 nemali stresový charakter, nebola u sledovaných vzorníkov buka a smreka zaznamenaná stresová odozva na úrovni fyziologických parametrov (asimilačné pigmenty, fluorescencia chlorofylu), napriek tomu, že v týchto polohách môžu byť lesné dreviny vystavené extrémnym hodnotám faktorov prostredia (excesy žiarenia, sucho, vysoké resp. nízke teploty vzduchu).

Podakovanie

Práca bola podporovaná projektami VEGA 1/2357/05 a VEGA- 1/3524/06.

Literatúra

[1] CRITCHLEY, C., 2000: Photoinhibition. In: Raghavendra, A.S. (ed.): Photosynthesis – a comprehensive treatise. Cambridge University Press, 264 – 273.

[2] DEMMIG-ADAMS, B., GILMORE, A.M., ADAMS W.W., 1996: In vivo functions of carotenoids in higher plants. *The FASEB Journal*: 403-412.

[3] FRACHEBOUD, Y., LEIPNER, J., 2003: The application of chlorophyll fluorescence to study light, temperature and drought stress. In: Practical application of chlorophyll fluorescence in plant biology. Boston, Dordrecht, London, Kluwer Academic Press, 151 – 184.

[4] JEŽÍK, M., STŘELCOVÁ, K., 2005: Sezónna dynamika hrúbkového prírastku buka vo vzťahu k faktorom klímy a priebehu počasia. In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (ed.): Bioklimatologie současnosti a budoucnosti, XV. Česko-slovenská bioklimatologická konference, Křtiny 12.-14.9.2005, ISBN 80-86690-31-08.

[5] KIRCHGESSNER, H.D., REICHERT, K., HAUFF, K., STEINBRACHER, R., SCHNITZLER J.P., PFUNDEL, E.E., 2003: Light and temperature, but not UV radiation, affect chlorophylls and carotenoids in Norway spruce needles (*Picea abies* Karst. L.). *Plant, Cell and Environment*, 26: 1169-1179.

[6] LICHTENTHALER, H. K. 1985: Stand der Ursachenforschung des Waldsterbens aus der Sicht des Pflanzenphysiologen. In: Baden – Württembergischer Forstverein. *Berichte der Hauptversammlung*, 22: 51–65.

[7] LICHTENTHALER, H. K. 1987: Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods in enzymology*, 148: 350–382.

[8] MATYSSEK, R., KELLER, T., KOIKE, T. 1993: Branch growth and leaf gas exchange of *Populus tremula* exposed to low ozone concentrations through growing season. *Environ Pollut*, 79: 1-7.

[9] PASTENES, C., HORTON, P., 1999: Resistance of photosynthesis to high temperature in two bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.). *Photosynthesis Research*, 62, 197 – 203.

[10] SIEFERMANN-HARMS, D., 1994: Light and temperature control of season-dependent changes in the α and β -carotene content of spruce needles. *Journal of Plant Physiology*, 143: 488-494.

[11] SRIVASTAVA, A., GUISE, B., GREPPIN, H., STRASSER, R.J., 1997: Regulation of antenna structure and electron transport in PS II of *Pisum sativum* under elevated temperature probed by the fast polyphasic chlorophyll *a* fluorescence transient OKJIP. *Biochimica and Biophysica Acta*, 1320, 95 – 106.

[12] ŠKVARENINA, J., STŘELCOVÁ, K., MINĐÁŠ, J., 2002: Bioklimatologický a ekofyziologický výskum v biosférickej rezervácii Poľana. In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (ed.): XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference, Lednice na Moravě 2.- 4. září 2002, ISBN 80-85813-99-8, s. 429-441.