

FYZIOLOGICKÉ ASPEKTY ZDRAVOTNÉHO STAVU BUKA (*Fagus sylvatica* L.) VO VZŤAHU K TEPLOTNÉMU STRESU

THE PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF BEECH (*Fagus sylvatica* L.) HEALTH CONDITION IN RELATIONSHIP TO THE TEMPERATURE STRESS

Kmeť Jaroslav^{*}, Ditmarová Ľubica^{**}, Střelcová Katarína^{*}
^{*}Technická univerzita vo Zvolene, ^{**}Ústav ekológie lesa vo Zvolene

Abstract

We assessed physiological characteristics (chlorophyll *a* fluorescence, photosynthetic pigments) of shade beech (*Fagus sylvatica* L.) leaves in (measured 1, 2, 3, 7 and 14 days before the leaf sampling). The study was performed in two locations under different pollution load. The leaf characteristics were observed on 15 year old trees from the understorey. We identified a significant negative influence of the temperature difference related to the long term mean (25 years) on the basic fluorescence (F_0) and a positive influence of deviation of maximum temperatures from the long term mean on the ratio of the variable to maximum fluorescence (F_v/F_m). These trends were observed for short time periods (1–3 days) and they were mainly true for parameters measured on upper (adaxial) side of assimilatory organs of trees at both localities. In the photosynthetic pigments we could see significant influence of the deviation of maximum temperatures measured one day before the leaf sampling on the pigment content values ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-2}$) at both localities.

Key words: stress physiology, chlorophyll fluorescence, chlorophylls, temperature stress, *Fagus sylvatica* L.

Úvod

Klíma, ako jeden z hlavných faktorov, ovplyvňuje fyziologické a produkčné procesy v lesných ekosystémoch. Očakávané zmeny klímy vyvolajú zrejme celý rad zmien nielen v týchto procesoch, ale aj v zdravotnom stave a vo vývoji lesných spoločenstiev. Najčastejšie uvádzanými stresovými faktormi, ktoré pôsobia na lesné ekosystémy v súvislosti s klimatickou zmenou sú: zvyšovanie koncentrácie CO_2 , zvyšovanie priemernej teploty, zmeny v množstve a distribúcii zrážok s nasledujúcimi zmenami vodnej bilancie, zvyšovanie intenzity UV-B žiarenia a zmeny frekvencie a intenzity extrémnych javov (extrémne teplé alebo chladné periódy, suchá a i). Analýza základnej klimatickej charakteristiky hlavných vegetačných stupňov Západných Karpát (Škvarenina a Tomlain, 2000) z hľadiska vodnej bilancie a ich zmeny v podmienkach pôsobenia klimatických zmien do roku 2075 ukázala, že v nižších vegetačných stupňoch (1. – 3. a z časti aj 4. vegetačný stupeň) sa stanú limitujúce hlavne zrážky a vysoká evapotranspirácia v letnom období. Tieto zmenené bioklimatické podmienky ohrozia zloženie súčasných spoločenstiev a zastúpenie drevín, hlavne buka.

Cieľom predloženej práce je zhodnotiť vplyv teploty (maximálnej a minimálnej vzťahnutej k dlhodobému normálu) na vybrané fyziologicko-biochemické parametre asimilačných orgánov jedincov buka, rastúcich na dvoch lokalitách s rozdielnym imisne-ekologickým zaťažením a na základe toho určiť význam teploty ako stresového faktora na zhoršovaní fyziologického stavu danej dreviny (krátkodobý a strednodobý stresový účinok).

Materiál a metódy

Jedna výskumná plocha sa nachádza v Žiarskej kotline, v oblasti Štiavnických vrchov. Lesný porast 289 je lokalizovaný v blízkosti hlinikárne, v pásme ohrozenia A. Druhá výskumná plocha je súčasťou Ekologicko-experimentálneho stacionáru Ústavu ekológie lesa, ktorý sa nachádza v pohorí Kremnické vrchy (Ditmarová, Kmeť, 2002). Na obidvoch lokalitách sme vybrali po päť jedincov buka vo veku približne 12 rokov (v roku 1996). Vzorníky sa nachádzajú pod clonou porastu.

V priebehu vegetačných období 1996-2000 sme odoberali vzorky asimilačných orgánov z jednotlivých vzorníkov buka. Odbery vzoriek na kvantitatívnu analýzu asimilačných pigmentov sme robili terčíkovou metódou. Jedna analyzovaná vzorka predstavovala vždy súbor desať terčíkov. Analýzu chlorofylov sme robili z 80 %-ného vodného roztoku acetónu po zhomogenizovaní vzoriek listov v trecej miske. Hodnoty absorbancie boli merané na prístroji typu SPEKOL-211, pričom na výpočet koncentrácie chlorofylov sme použili vzťahy podľa Lichtenthalera (1987).

Súčasne sme merali fluorescenciu chlorofylu na dvoch konároch každého vzorníka vždy v ten istý deň na obidvoch lokalitách. Merania sme vykonávali na vrchnej i spodnej strane listov. Použili sme fluorometer PEA (Hansatech Ltd., Kings Lynn, UK) na meranie parametrov rýchlej kinetiky fluorescencie chlorofylu – F_0 , F_m , F_v , F_v/F_m , T_m , $Area$ (Kooten, Snel, 1990).

Zisťovali sme koreláciu medzi danými fyziologickými parametrami a odchýlkami maximálnych a minimálnych teplôt od dlhodobého normálu teplôt (1964-1988) jeden, dva, tri, sedem a štrnásť dní pred meraním a odberom vzoriek na obidvoch lokalitách (tab. 1). Hodnotili sme vplyv krátkodobého a strednodobého teplotného stresu na dané fyziologicko-biochemické parametre. Na vyhodnotenie sme použili Spearmanove koeficienty poradovej korelácie.

Tab. 1 Sledované parametre teplotného stresu

Maximálna teplota	Minimálna teplota
Parametre krátkodobého teplotného stresu	
$D_1(1) = \Delta_1(i-1)$	$D_2(1) = \Delta_2(i-1)$
$D_1(2) = (\Delta_1(i-1) + \Delta_1(i-2))/2$	$D_2(2) = (\Delta_2(i-1) + \Delta_2(i-2))/2$
$D_1(3) = (\Delta_1(i-1) + \dots + \Delta_1(i-3))/3$	$D_2(3) = (\Delta_2(i-1) + \dots + \Delta_2(i-3))/3$
Parametre strednodobého teplotného stresu	
$D_1(7) = (\Delta_1(i-1) + \dots + \Delta_1(i-7))/7$	$D_2(7) = (\Delta_2(i-1) + \dots + \Delta_2(i-7))/7$
$D_1(14) = (\Delta_1(i-1) + \dots + \Delta_1(i-14))/14$	$D_2(14) = (\Delta_2(i-1) + \dots + \Delta_2(i-14))/14$

i – deň merania fyziologických parametrov

Výsledky a diskusia

Z tabuľky 2 je zrejмый štatisticky veľmi významný vplyv ($\alpha = 0,001$) krátkodobého teplotného stresu – $D_1(1)max$, $D_1(2)max$ a $D_1(3)max$ na pomer variabilnej a maximálnej fluorescencie (F_v/F_m) z vrchnej strany listov na lokalite Kováčová. Významný vplyv tu mali vysoké teploty namerané hlavne na začiatku vegetačného obdobia v rokoch 1996 (5. júna 29,4 °C), 1997 (21. mája 27,5 °C) a 1998 (7. júna 32,6 °C), avšak z celkového hľadiska rozdiely maximálnych teplôt voči dlhodobému

priemeru $[\Delta I(i)]$ kladne korelovali s parametrom F_v/F_m . Znamená to, že sa v sledovanom období nevyskytli dlhotrvajúce extrémne maximálne teploty vymykajúce sa z dlhodobého normálu.

T a b. 2 Spearmanove koeficienty poradovej korelácie medzi fluorescenciou chlorofylu v listoch buka (vrchná strana listov) a teplotou vzduchu – lokalita Kováčová (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

Teplota vzduchu	Parametre fluorescencie chlorofylu <i>a</i>					
	F_0	F_m	F_v	F_v/F_m	T_m	<i>Area</i>
$D_1(1)max$	-0.394***	-0.100	-0.059	0.351***	-0.052	-0.056
$D_2(1)min$	-0.296***	-0.049	-0.022	0.186*	-0.044	-0.064
$D_1(2)max$	-0.251***	0.058	0.092	0.366***	-0.117	0.104
$D_2(2)min$	-0.263***	-0.032	-0.008	0.195*	0.008	-0.066
$D_1(3)max$	0.186*	0.104	0.136	0.364***	-0.056	0.150
$D_2(3)min$	-0.209	-0.001	0.015	0.186	0.022	0.004
$D_1(7)max$	-0.227	-0.033	0.006	0.290	-0.024	0.042
$D_2(7)min$	-0.260	-0.227	-0.225	-0.086	0.179	-0.203**
$D_1(14)max$	-0.371	-0.265	-0.229	0.120	0.100	-0.202**
$D_2(14)min$	-0.197*	-0.200**	-0.196*	-0.111	0.296***	-0.125

Je potrebné tiež upozorniť na významný negatívny vplyv krátkodobého teplotného stresu – $D_1(1)max$, $D_2(1)min$, $D_1(2)max$ a $D_2(2)min$ na základnú fluorescenciu (F_0) z vrchnej strany listov. To znamená, že tieto teploty sa nachádzali v rámci fyziologického optima a parameter F_0 reagoval záporne. Je potrebné však uviesť, že na lokalite Kováčová boli mrazy v sledovanom období namerané v dvoch prípadoch (14.10. 1997 : $-1,5\text{ }^\circ\text{C}$, 24.5. 1998: $-1,6\text{ }^\circ\text{C}$). Zvlášť mrazy na konci mája musíme jednoznačne považovať za vplyv neskorých mrazov, v tomto prípade však ide o ojedinelú epizódu. Podobný priebeh má aj vplyv krátkodobého teplotného stresu na parameter F_v/F_m z vrchnej strany asimilačných orgánov na lokalite Žiar nad Hronom (Tab. 3). Výskyt maximálnych teplôt je v podstate podobný ako na lokalite Kováčová. Počas päťročného obdobia sa na lokalite Žiar nad Hronom vyskytli tiež dvakrát záporné teploty v priebehu odberu vzoriek (29.9. 1997: $-0,2\text{ }^\circ\text{C}$, 24.5. 1998: $-0,8\text{ }^\circ\text{C}$). Odozva strednodobého teplotného stresu na základnú fluorescenciu (F_0) na tejto lokalite je negatívne signifikantná na vrchnej strane listov [$D_1(7)$ až $D_2(14)$].

Zaujímavý je signifikantný vplyv krátkodobého teplotného stresu – $D_1(1)max$ na obsah asimilačných pigmentov vztiahnutých na plochu listov (chlorofyl *a*, *b*, *a+b* v $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-2}$). Táto korelácia je kladná, čo znamená, že tieto teploty tu nepôsobili ako škodlivý stresový faktor (distress). Tento poznatok platí pre obidve sledované lokality – Kováčová a Žiar nad Hronom (Tab. 4 a 5).

T a b. 3 Spearmanove koeficienty poradovej korelácie medzi fluorescenciou chlorofylu v listoch buka (vrchná strana listov) a teplotou vzduchu – lokalita Žiar nad Hronom (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

Teplota vzduchu	Parametre fluorescencie chlorofylu <i>a</i>					
	F_0	F_m	F_v	F_v/F_m	T_m	<i>Area</i>
$D_1(1)max$	-0.413***	-0.033	0.042	0.337***	-0.224**	-0.142
$D_2(1)min$	-0.334***	-0.046	-0.014	0.207**	-0.122	-0.094
$D_1(2)max$	-0.319***	0.019	0.075	0.300***	-0.223**	-0.050
$D_2(2)min$	-0.345***	-0.099	-0.065	0.171*	-0.053	-0.111
$D_1(3)max$	-0.270***	0.062	0.108	0.254***	-0.171*	0.012
$D_2(3)min$	-0.292***	-0.062	-0.032	0.170*	0.028	-0.060
$D_1(7)max$	-0.260***	-0.007	0.022	0.194*	-0.027	-0.078
$D_2(7)min$	-0.272***	-0.242**	-0.220**	0.008	0.220**	-0.203**
$D_1(14)max$	-0.313***	-0.173*	-0.155*	0.100	0.059	-0.265***
$D_2(14)min$	-0.328*	-0.296***	-0.293***	-0.085	0.371***	-0.127

T a b. 4 Spearmanove koeficienty poradovej korelácie medzi fotosyntetickými pigmentami v listoch buka a teplotou vzduchu – lokalita Kováčová (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

Teplota vzduchu	Parametre fotosyntetických pigmentov						
	<i>Chl a</i> (mg.g ⁻¹)	<i>Chl b</i> (mg.g ⁻¹)	<i>Chl a+b</i> (mg.g ⁻¹)	<i>Chl a/b</i>	<i>Chl a</i> (mg.dm ⁻²)	<i>Chl b</i> (mg.dm ⁻²)	<i>Chl a+b</i> (mg.dm ⁻²)
$D_1(1)max$	0.191*	0.155*	0.191*	-0.012	0.238**	0.216**	0.228**
$D_2(1)min$	-0.013	0.054	0.009	-0.164*	0.077	0.121	0.087
$D_1(2)max$	0.035	0.064	0.047	-0.104	0.085	0.098	0.082
$D_2(2)min$	-0.098	0.001	-0.069	-0.194*	0.024	0.095	0.038
$D_1(3)max$	-0.007	0.089	0.020	-0.193*	0.037	0.084	0.040
$D_2(3)min$	-0.137	-0.035	-0.107	-0.191*	-0.004	0.072	0.010
$D_1(7)max$	0.008	0.124	0.042	-0.228**	0.095	0.162*	0.111
$D_2(7)min$	-0.175*	-0.055	-0.141	-0.199**	-0.076	0.005	-0.056
$D_1(14)max$	0.039	0.038	0.045	-0.035	0.151*	0.156*	0.157*
$D_2(14)min$	-0.254***	-0.159*	-0.224**	-0.131	-0.177*	-0.083	-0.152*

T a b. 5 Spearmanove koeficienty poradovej korelácie medzi fotosyntetickými pigmentami v listoch buka a teplotou vzduchu – lokalita Žiar nad Hronom (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

Teplota vzduchu	Parametre fotosyntetických pigmentov						
	<i>Chl a</i> (mg.g ⁻¹)	<i>Chl b</i> (mg.g ⁻¹)	<i>Chl a+b</i> (mg.g ⁻¹)	<i>Chl a/b</i>	<i>Chl a</i> (mg.dm ⁻²)	<i>Chl b</i> (mg.dm ⁻²)	<i>Chl a+b</i> (mg.dm ⁻²)
$D_1(1)max$	0.182*	0.071	0.163*	0.124	0.269***	0.205**	0.266***
$D_2(1)min$	0.042	-0.073	0.026	0.056	0.148	0.127	0.151
$D_1(2)max$	0.112	0.049	0.107	0.025	0.155*	0.142	0.162*
$D_2(2)min$	-0.015	-0.125	-0.031	0.068	0.058	0.029	0.057
$D_1(3)max$	0.081	0.060	0.084	-0.014	0.124	0.156*	0.140
$D_2(3)min$	-0.061	-0.134	-0.068	0.020	0.011	0.011	0.014
$D_1(7)max$	0.098	0.069	0.100	0.011	0.145	0.198*	0.166*
$D_2(7)min$	-0.057	-0.192*	-0.082	0.144	0.007	-0.030	0.004
$D_1(14)max$	0.065	-0.038	0.044	0.084	0.095	0.068	0.093
$D_2(14)min$	-0.145	-0.241**	-0.165*	0.131	-0.059	-0.109	-0.074

Z týchto našich výsledkov vyplýva, že krátkodobý a strednodobý teplotný stres, korelovaný k vybraným biomarkérom stresu, nie je tým negatívnym stanovištným stresovým faktorom, ktorý

spôsobuje horší fyziologický stav jedincov buka na lokalite viac zaťaženej (Žiar nad Hronom). Počas päťročného (1996-2000) sledovania fyziologického stavu jedincov buka na lokalitách Kováčová a Žiar nad Hronom neboli zistené také teplotné extrémny, z krátkodobého i strednodobého časového hľadiska, ktoré by boli negatívne signifikantne ovplyvnili sledované fyziologicko-biochemické parametre.

V posledných rokoch bola značná pozornosť venovaná tolerancii a symptómom poškodenia buka lesného v rôznych imisne-ekologických podmienkach. Komplexnejšie zameraný výskum dynamiky poškodenia bukových ekosystémov u nás i v zahraničí je stále viacmenej výnimočný. Pritom tu existuje vzhľadom k metodickým ťažkostiam a mnohokrát značne odlišným imisne-ekologickým podmienkam ešte široké spektrum nevyjasnených otázok ako teoretického, tak aj praktického charakteru (Vacek, 1993, Ditmarová, Kmet', 2002).

V súvislosti s imisným vplyvom na lesné dreviny z hľadiska stresovej záťaže významnú úlohu zohráva i spolupôsobenie extrémnych hodnôt klimatických faktorov, najmä vysokých a nízkych teplôt, nadmernej FAR, resp. sucha, čo má za následok zníženie odolnosti drevín voči stresovej záťaži. Málo pozornosti sa venuje teplote povrchu listov, ktorá je veľmi variabilnou veličinou. Je známy značný rozdiel medzi teplotou povrchu asimilačných orgánov a teplotou vzduchu. Priwitzer (1999) zistil v spodnej časti koruny buka teplotu listov o 1,5 až 6,5 °C nižšiu, než v hornej časti ako dôsledok nižšieho príjmu slnečného žiarenia.

Šrámek (2000) vo svojej práci, v ktorej sleduje vplyv klimatických a meteorologických faktorov na vitalitu drevín a ekologickú stabilitu lesných porastov (najmä smreka a brezy), uvádza výrazné spolupôsobenie meteorologických stresových faktorov a imisií v silne zaťažených lokalitách Krušných hôr. Podľa Masarovičovej *et al.* (1996) listy buka z EES Kremnické vrchy (Kováčová) mali lepšiu schopnosť udržiavať vodu, t. j. mali vyššiu odolnosť voči suchu oproti listom z lokality Žiar nad Hronom, kde je tento mechanizmus pravdepodobne v dôsledku pôsobenia imisií narušený. Na obidvoch plochách mali najväčšiu vodu udržiavaciu schopnosť slnné listy a najmenšiu listy podrastových jedincov. Uvedený rozdiel sa výrazne prejavil najmä v období dlhotrvajúceho sucha.

V najbližšej dobe bude preto potrebné venovať pozornosť výskytu spomínaných extrémnych hodnôt klimatických faktorov vo vzťahu k imisnému stresu zo širšieho časového hľadiska. Pozornosť v tomto prípade musí byť venovaná tiež vplyvu deficitu zrážok na sledované fyziologicko-biochemické charakteristiky listov buka.

Súhrn

Sledovali sa fyziologicko-biochemické charakteristiky (fluorescencia chlorofylu *a*, fotosyntetické pigmenty) tiennych listov buka (*Fagus sylvatica* L.) vo vzťahu k maximálnym a minimálnym teplotám (1, 2, 3, 7 a 14 dní pred odberom vzoriek) z oblastí s rozdielnou imisnou záťažou. Charakteristiky listov sa sledovali pri podrastových jedincoch vo veku 15 rokov.

Z parametrov fluorescence chlorofylu sa zistil signifikantný záporný vplyv rozdielu teplôt voči dlhodobému priemeru (25 rokov) na základnú fluorescenciu (F_0) a kladný vplyv hlavne rozdielu maximálnych teplôt voči dlhodobému priemeru na pomer variabilnej a maximálnej fluorescence (F_v/F_m) z kratšieho časového hľadiska (1 až 3 dni). Týka sa to parametrov hlavne z vrchnej strany

asimilačných orgánov na obidvoch lokalitách. Pri fotosyntetických pigmentoch je zrejmy kladný signifikantný vplyv rozdielu maximálnych teplôt jeden deň pred odberom vzoriek na obsahy pigmentov (mg.dm^{-2}) na obidvoch lokalitách.

Kľúčové slová: stresová fyziológia, fluorescencia chlorofylu, chlorofyly, teplotný stres, *Fagus sylvatica* L.

Literatúra

Ditmarová, L., Kmeť, J., 2002: Physiological and biochemical aspects of stress impact on beech saplings growing under varying site conditions. *Biológia* (Bratislava), 57(4): 533-540.

Kooten, O., Snel, J.F.H., 1990: The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynthesis Research* 25: 147-150.

Lichtenthaler, H.K., 1987: Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods in enzymology* 148: 350-382.

Masarovičová, E., Cicák, A., Štefančík, I., 1996: Ecophysiological, biochemical, anatomical and productional characteristics of beech *Fagus sylvatica* L. leaves from regions with different degree of immissions impact. *Ekológia* 15(3): 337-351.

Priwitzer, T., 1999: Ekofyziologické štúdium lesných drevín. Dizertačná práca, LVÚ Zvolen, 138 s.

Škvarenina, J., Tomlain, J., 2000: Posúdenie dôsledkov zmeny klímy na vodnú bilanciú lesných vegetačných stupňov. In: Národný klimatický program Slovenskej republiky 9, Bratislava, s. 87-94.

Šrámek, V., 2000: Vliv klimatických a meteorologických faktorů na vitalitu dřevin a ekologickou stabilitu lesních porostů. Autoreferát doktorské disertační práce, MZLU Brno, 39 s.

Vacek, V., 1993: Zdravotní stav bukových porostů v rozdílných imisne-ekologických podmínkách. *Opera corcontica* 30: 21-51.

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
