

SLEDOVÁNÍ STAVU ASIMILAČNÍHO APARÁTU JEDLE BĚLOKORÉ (*ABIES ALBA* MILL.) V RŮSTOVÉ KOMOŘE MĚŘENÍM FLUORESCENCE CHLOROFYLU

PHYSIOLOGICAL STATE ASSESSMENT OF FIR (*ABIES ALBA* MILL.) PLANTS IN GROWTH CHAMBER BY MEANS OF CHLOROPHYLL FLUORESCENCE MEASUREMENT

JAN LEUGNER - JARMILA MARTINCOVÁ - ANTONÍN JURÁSEK

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno

ABSTRACT

Experiment aimed to probe the influence of temperature leading to breaking of dormancy and light conditions on state and reactions of assimilation apparatus of fir (*Abies alba* MILL.) plants was realized in growth chamber. Various possibilities of using chlorophyll fluorescence measurements for evaluation of the physiological state of plants were assessed at the same time. Results showed marked reaction of chlorophyll fluorescence on temperature change and on different light conditions. Noticeable differences in many chlorophyll fluorescence features occurred between vigorous plants (with budburst and growth during 8 weeks in growth chamber) and worse plants exposed to stress during handling (which did not burst and eventually declined). These differences occurred just since the beginning of the experiment in the time of bringing plants into growth chamber and lasted for subsequent weeks. The results suggest the possibility of assessment of plant physiological quality by means of the fast and non-destructive method of chlorophyll fluorescence measurement.

Klíčová slova: jedle bělokorá, *Abies alba*, fluorescence chlorofylu, kvalita sazenic, růstová komora
Key words: fir, *Abies alba*, chlorophyll fluorescence, planting stock quality, growth chamber

ÚVOD

Jedle bělokorá patří k významným dřevinám našich lesních porostů. Po období jejího ústupu ze zastoupení hlavních dřevin v našich lesích, souvisejícího zejména se zhoršováním zdravotního stavu v druhé polovině minulého století, přichází období, kdy se tato situace zlepšila. Opět je tedy možné počítat s touto stinnou dřevinou i při obnově lesa. V této souvislosti se mimo jiné naskytá otázka, do jaké míry se mohou různé světelné podmínky během pěstování ve školce promítnout do intenzity a kvality růstu výsadby v lesních porostech. K tomuto účelu probíhá ověřování možnosti využití metody měření fluorescence chlorofylu pro hodnocení fyziologického stavu sadebního materiálu. Měření fluorescence chlorofylu je považováno mimo jiné za rychlou a nedestruktivní metodu potenciálně využitelnou pro sledování vitality sadebního materiálu lesních dřevin (MOHAMMED et al. 1995, GILLIES, BINDER 1997, SAMPSON et al. 1997, PERKS et al. 2001, RITCHIE, LANDIS 2005). Dalším okruhem využívání této metody je sledování rozdílů fyziologie slunných a stinných listů a jejich adaptace na změněné podmínky (EINHORN et al. 2004, GAMPER et al. 2000, LICHTENTHALER et al. 2000).

Za tímto účelem byl realizován experiment v růstové komoře, kde byly vitální a stresované sazenice jedle pěstovány při různých intenzitách světla. Cílem bylo zjistit reakce asimilačního aparátu na různé světelné podmínky a ověřit možnost hodnocení fyziologické kvality sazenic jedle bělokoré pomocí měření fluorescence chlorofylu.

MATERIÁL A METODY

Pro hodnocení fluorescence chlorofylu jedle bělokoré (*Abies alba* MILL.) byly použity čtyřleté prostokořenné sazenice vypěstované běžným způsobem na venkovních záhonech (2 + 2). Při oblevě v zimním období (31. 1. 2007) byly sazenice dovezeny z lesní školky. Část z nich byla vystavena fyziologickému stresu (expozice nechráněných kořenů po dobu 45 minut při teplotě 20 °C). Sazenice byly vysazeny po dvou do plastových kontejnerů o objemu ca 70 dm³ naplněných rašelinovým substrátem. Kontejnery byly umístěny v růstové komoře, jedna varianta v plně osvětlené části komory, druhá v části zastíněné textilní stínicí sítí, přičemž v rámci těchto dvou variant byly umístěny v označených kontejnerech kvalitní i stresované sazenice. V růstové komoře byla udržována teplota 20 ± 2 °C a 16hodinová fotoperioda. Zdrojem světla byly zářivky o výkonu 45 W umístěné 10 – 20 cm nad sazenicemi. Dopadající světlo mělo intenzitu u nezastíněných 1 000 – 1 200 luxů, u stíněných ca 200 luxů.

Fluorescence chlorofylu jehličí byla zjišťována bezprostředně po umístění sazenic do růstové komory a následně v týdenních intervalech po dobu 2 měsíců. V prvním termínu byla fluorescence měřena u 20 sazenic z každé varianty, v dalších termínech střídavě vždy u poloviny z těchto rostlin. Po přemístění sazenic do růstové komory a následně po 4 týdnech pěstování byla měřena fluorescence chlorofylu i u sazenic vystavených stresu během manipulace (5 ks od každé varianty). Pro jednotlivá hodnocení byly odebírány jehlice z letorostů, z každé sazenice bylo použito vždy 8 jehlic (4 opakování po 2 jehlicích).

Pro hodnocení fluorescence chlorofylu byl používán přístroj Imaging-PAM 2000 (Walz, Effeltrich, Germany). U vzorků adaptovaných na tmu byly měřeny hodnoty F_0 (minimální fluorescence) a F_m (maximální fluorescence). Z nich byla počítána hodnota $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ (poměr variabilní ku maximální fluorescenci - maximální kvantový výtěžek fotochemie fotosystému II. vzorku adaptovaného na tmu). Bližší popis uvedených základních veličin je možno nalézt v řadě teoretických prací (například SCHREIBER et al. 1986, 1995, MAXWELL, JOHNSON 2000, ROHÁČEK 2002, LICHTENTHALER et al. 2005, RITCHIE, LANDIS 2005). Pro měření bylo aplikováno měřicí světlo intenzity $3 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a saturační impuls intenzity $2\,400 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ v trvání 800 ms.

Další veličinou měřenou fluorometrem Imaging-PAM byla absorptivita (ABS) počítaná z poměru odraženého R (650 nm) a NIR (780 nm) záření. Tato charakteristika se dá považovat za blízký odhad absorptivity fotosynteticky aktivního záření (WALZ 2004).

U stejných vzorků byla sledována reakce asimilačního aparátu na zvyšující se intenzitu ozáření (světelné křivky). Intenzita fotosynteticky účinného záření (PAR - photosynthetic active radiation) byla zvyšována od 0 do $1\,580 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, interval mezi impulzy saturačního světla byl 10 sekund. Hodnoceným parametrem byla intenzita fotosyntetického elektronového transportu (ETR) indikující rychlost odvádění elektronů z fotosystému II (PSII) a jejich využívání pro další procesy fotosyntézy. Tento parametr je používán zejména proto, že jeho křivky mají obdobný průběh jako křivky fotosyntetické fixace CO_2 (STRAND, LUNDMARK 1995).

Výsledky byly zpracovávány v programu Excel. Pro znázornění variability a významnosti rozdílů mezi sledovanými variantami pokusu jsou v grafech používány intervaly spolehlivosti (confidence) pro průměry.

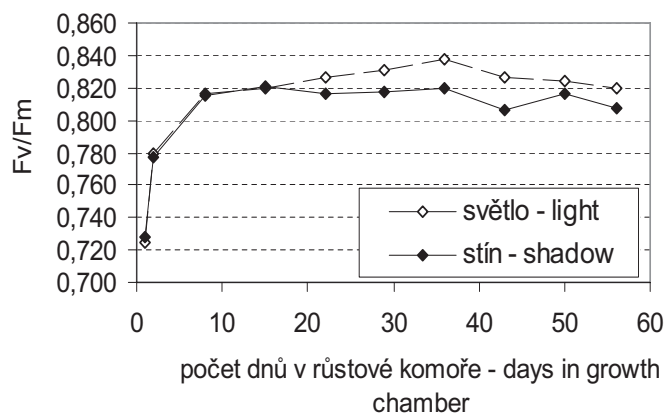
VÝSLEDKY A DISKUSE

Vliv růstového prostředí na fluorescenci chlorofylu

Přibližně po 30 dnech od zahájení pokusu začaly sazenice postupně rašit. Prodlužování nových výhonů bylo u většiny sazenic pozorováno od 40. dne v řízených příznivých podmínkách. Změny hodnot maximálního kvantového výtěžku fluorescence chlorofylu (F_v/F_m) během 8 týdnů po přemístění sazenic jedle bělokoré z venkovních podmínek do růstové komory znázorňuje obrázek 1.

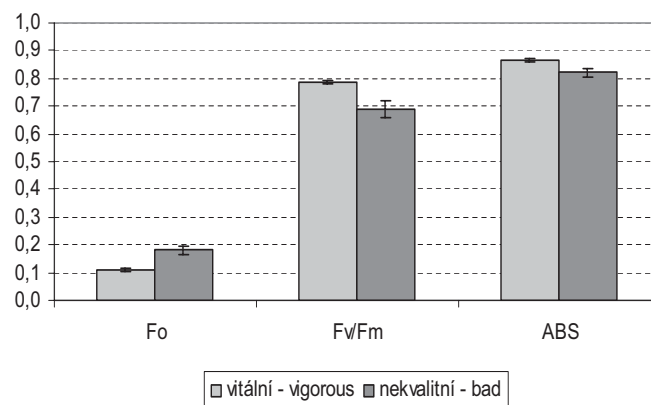
Z výsledků je patrné výrazné zvýšení hodnot F_v/F_m první den v růstové komoře. K dalšímu zvyšování docházelo během prvního týdne. Uvedené změny souvisí s výrazným zvýšením teploty po přemístění sazenic do podmínek růstové komory a přechodem rostlin z dormantního do aktivního stavu. Zvyšování hodnot F_v/F_m se stoupající teplotou na jaře popisuje např. i ROBAKOWSKI (2005) a REPO et al. (2004) u několika dřevin včetně jedle bělokoré nebo STRAND a LUNDMARK (1995) u jednoletých semenáčků smrku ztepilého. Stejný trend u smrku ztepilého v jarním období pozorovali i ŠPULÁK a MARTINCOVÁ (2006). Od druhého týdne ve stálých podmínkách se hodnoty maximálního výtěžku fluorescence chlorofylu měnily již velmi málo.

Ve třetím týdnu v růstové komoře se začal projevovat vliv rozdílného osvětlení na sledované hodnoty fluorescence chlorofylu. Nezařiněné sazenice měly statisticky průkazně vyšší hodnoty F_v/F_m než sazenice zastíněné. Rozdíly mezi různě osvětlenými sazenicemi přetrvávaly až do konce sledovaného období. Reakce některých parametrů fluorescence na změny osvětlení ukazují, jak se rostliny přizpůsobují rozdílné intenzitě světla v jejich růstovém prostředí (EINHORN et al. 2004). Naše výsledky naznačují, že intenzita světla v zastíněné části růstové komory byla již příliš nízká pro optimální funkci jejich fotosystémů. Výsledky potvrdily i předpoklad, že fluorescence chlorofylu může být využitelnou metodou pro sledování reakcí asimilačního aparátu na měnící se prostředí.



Obr. 1.

Změny maximálního kvantového výtěžku fluorescence chlorofylu (F_v/F_m) vitálních sazenic jedle bělokoré po jejich přemístění do růstové komory
Pattern of maximal chlorophyll fluorescence quantum yield (F_v/F_m) of vigorous *Abies alba* plants after they were placed into growth chamber



Obr. 2.

Porovnání základních charakteristik fluorescence chlorofylu měřených těsně po přemístění do růstové komory u sazenic, které dobře rostly (vitální) a stresovaných sazenic, které následně uhynuly (nekvalitní). Úsečky znázorňují interval spolehlivosti při 5% hladině významnosti. Comparison of fluorescence chlorophyll features of vigorous plants and stressed plants which subsequently declined. Measurement after the plants placement in growth chamber. Vertical bars mean confidence with 5 percent of significance.

Vztah vitality sazenic a fluorescence chlorofylu

Byla porovnáována fluorescence chlorofylu zjištěná u vitálních sazenic jedle bělokoré, které normálně vyrašily a rostly a u stresovaných sazenic, které během osmi týdnů v růstové komoře nevyrašily a zpravidla později uhynuly (označeny jako nekvalitní). Rozdíly ve fluorescence chlorofylu mezi vitálními a nekvalitními sazenicemi se projeví již při počátečním hodnocení v době přemístění sazenic do růstové komory (obr. 2, tab. 1). Pozorované rozdíly mezi vitálními a nekvalitními sazenicemi u všech hodnocených charakteristik fluorescence chlorofylu byly statisticky vysoce průkazné (na 1% hladině významnosti). Nekvalitní sazenice, které během osmi týdnů v růstové komoře nevyrašily a postupně opadávaly, měly průkazně vyšší hodnoty F_o a nižší hodnoty F_v/F_m a absorptivity.

Obdobné rozdíly byly pozorovány i po 4 týdnech v růstové komoře (obr. 3, tab. 1) a u všech sledovaných charakteristik byly vysoce statisticky průkazné bez ohledu na to, v jakých světelných podmínkách byly pěstovány. Uvedené výsledky měření signalizují horší stav asimilačního aparátu stresovaných (nekvalitních) sazenic jedle bělokoré v porovnání s vitálními jedinci. Hodnoty F_v/F_m pozorované u vitálních sazenic odpovídaly rozpětí 0,75 až 0,83, které je uváděno pro stromy mírného pásu v letním období (ČAŇOVÁ 2002, MOHAMMED et al. 2003, LICHTENTHALER et al. 2005).

Světelné křivky fluorescence chlorofylu znázorňující reakci asimilačního aparátu na zvyšující se intenzitu fotosynteticky účinného záření ukázaly značné rozdíly mezi vitálními a nekvalitními sazenicemi. Stejný trend byl pozorován v době přemístění sazenic do rů-

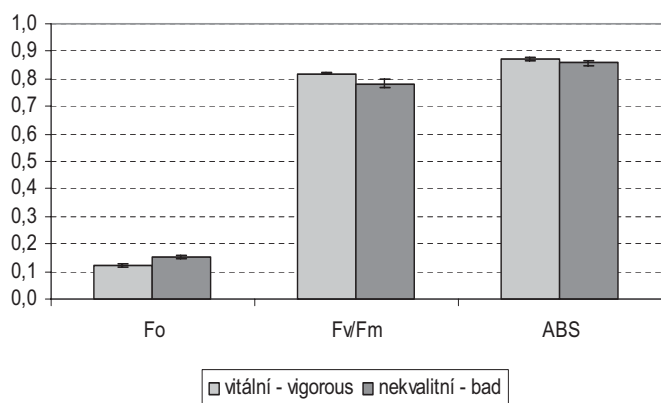
Tab. 1.

Fluorescence chlorofylu vzorků adaptovaných na tmu u vitálních a nekvalitních sazenic jedle bělokoré v době přemístění do růstové komory a po 4 týdnech růstu

Chlorophyll fluorescence of samples adapted for dark measured as soon as the plants were placed in growth chamber and 4 weeks later

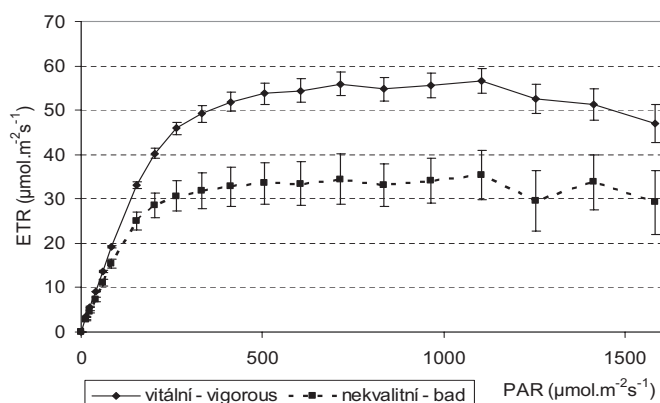
Termín/Date	Znak/Feature	F_o		F_v/F_m		ABS		
		Vitalita/Vitality	dobrá/good	špatná/bad	dobrá/good	špatná/bad	dobrá/good	špatná/bad
	Počet/Number		128	32	128	32	128	32
1. 2. 2007	Průměr/Mean		0,110	0,182	0,788	0,690	0,866	0,820
	Sx/Standard deviation		0,029	0,044	0,035	0,085	0,023	0,042
	Průkaznost/Significancy		**				**	
1. 3. 2007	Průměr/Mean		0,121	0,152	0,819	0,783	0,873	0,857
	Sx/Standard deviation		0,026	0,023	0,018	0,042	0,025	0,028
	Průkaznost/Significancy		**		**		**	

** statistická průkaznost na 1% hladině významnosti/1% level of significancy



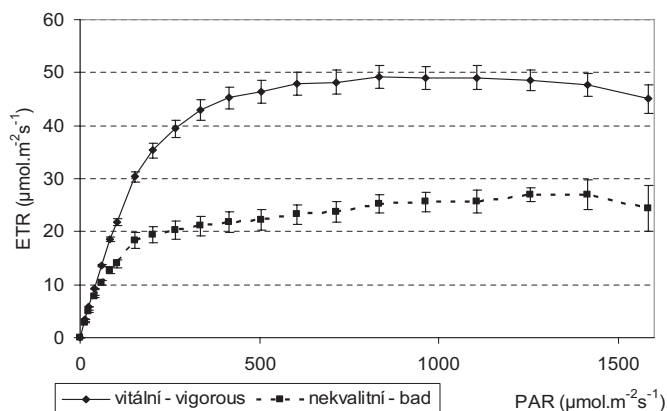
Obr. 3.

Porovnání základních charakteristik fluorescence chlorofylu měřených 4 týdny po přemístění do růstové komory u sazenic, které dobře rostly (vitální) a stresovaných sazenic, které následně uhynuly (nekvalitní). Úsečky znázorňují interval spolehlivosti při 5% hladině významnosti. Comparison of fluorescence chlorophyll features of vigorous plants and stressed plants which subsequently declined. Measurement 4 weeks after the plants were placed into growth chamber. Vertical bars mean confidence with 5 percent of significance.



Obr. 4.

Fotosyntetický transport elektronů (ETR) při zvyšující se intenzitě fotosynteticky účinné radiace (PAR) u sazenic, které dobře rostly (vitální), a stresovaných sazenic, které následně uhynuly (nekvalitní), měřený těsně po přemístění do růstové komory. Vertikální úsečky znázorňují interval spolehlivosti při 5% hladině významnosti. Photosynthetic electron transport (ETR) in increasing radiation (PAR) in vigorous plants and in stressed plants which subsequently declined. Measurement after the plants were placed in growth chamber. Vertical bars mean confidence with 5 percent of significance.



Obr. 5.

Fotosyntetický transport elektronů (ETR) při zvyšující se intenzitě fotosynteticky účinné radiace (PAR) u sazenic, které dobře rostly (vitální), a sazenic, které následně uhynuly (nekvalitní), měřený 4 týdny po přemístění do růstové komory. Vertikální úsečky znázorňují interval spolehlivosti při 5% hladině významnosti.

Photosynthetic electron transport (ETR) in increasing radiation (PAR) in vigorous plants and in stressed plants which subsequently declined. Measurement 4 weeks after the plants were placed into growth chamber. Vertical bars mean confidence with 5 percent of significance.

tové komory (obr. 4), i po několika týdnech růstu (obr. 5). Stresované sazenice, které později uhynuly, vykazovaly již od začátku experimentu výrazně nižší hodnoty fotosyntetického transportu elektronů (ETR), tedy horší schopnost využívání světla pro fotosyntézu.

Možnost využívání měření různých parametrů fluorescence chlorofylu pro hodnocení fyziologické kvality sadebního materiálu uvádějí různí autoři, kteří tato měření porovnávali s výsledky získanými jinými metodami (MOHAMMED et al. 1995, GILLIES, BINDER 1997, PERKS et al. 2001). V laboratořích Oregonské státní univerzity je tato metoda zařazena jako standardní provozní postup při zjišťování kvality semenáčků pěstovaných ve sklenicích (SAMPSON et al. 1997). Výsledky zjištěné u sazenic jedle bělokore v našem experimentu naznačují, že tato metoda může být úspěšně využitelná i pro hodnocení vitality sadebního materiálu v našich podmínkách.

ZÁVĚR

Hodnocení fluorescence chlorofylu sazenic jedle bělokore pěstovaných v růstové komoře ukázalo výraznou reakci asimilačního aparátu na změnu teploty vedoucí k uvolnění dormance. Od 3. týdne v růstové komoře byl pozorován i vliv různé intenzity osvětlení na fluorescenci chlorofylu jedlových sazenic.

Výrazné rozdíly byly pozorovány mezi vitálními sazenicemi, u kterých během osmi týdnů po přenesení do růstové komory došlo k vyrašení pupenů a intenzivnímu růstu výhonů, a nekvalitními sazenicemi stresovanými během manipulace, které nevyrašily a postupně odumíraly. Rozdíly v minimální fluorescenci chlorofylu vzorku adaptovaného na tmu (F_0), maximálním kvantovém výtěžku fotochemie fotosyntému II (F_v/F_m) a absorptivitě (ABS) mezi vitálními a nekvalitními sazenicemi byly pozorovány již na začátku experimentu v době pře-

místění sazenic do růstové komory a zůstávaly zachovány i v dalších týdnech. Výrazné rozdíly mezi vitálními a nekvalitními sazenicemi byly pozorovány i při hodnocení fotosyntetického transportu elektronů (ETR) při zvyšující se intenzitě fotosynteticky účinného záření.

Výsledky dosažené v našem experimentu potvrzují perspektivnost využití měření různých charakteristik fluorescence chlorofylu pro hodnocení kvality sadebního materiálu a vlivu růstového prostředí na intenzitu fotosyntézy. Předpokládáme, že pro širší využití bude nutné vzhledem k rozmanitosti typů sazenic a podmínek, ve kterých jsou běžně pěstovány, ještě dále zpřesnit postupy a standardní hodnoty pro různé dřeviny a typy sadebního materiálu.

Poděkování:

Poznatky byly získány v souvislosti s řešením výzkumného záměru MZE č. 0002070203 „Stabilizace funkcí lesa v biotopech narušených antropogenní činností v měnících se podmínkách prostředí“.

LITERATURA

- ČAŇOVÁ I. 2002: Health condition of young spruce stands growing in Pol'ana in different altitudes. *Journal of Forest Science*, 48: 469-474.
- EINHORN K. S., ROSENQVIST E., LEVERENZ J. W. 2004. Photoinhibition in seedlings of *Fraxinus* and *Fagus* under natural light conditions: implications for forest regeneration? *Oecologia*, 140: 241-251.
- GAMPER R., MAYR S., BAUER H. 2000. Similar susceptibility to excess irradiance in sun and shade acclimated saplings of Norway spruce (*Picea abies* (L.) KARST.) and stone pine (*Pinus cembra* L.). *Photosynthetica*, 38: 373-378.
- GILLIES S. L., BINDER W. D. 1997. The effect of sub-zero temperatures in the light and dark on cold-hardened, dehardened and newly flushed white spruce (*Picea glauca* [MOENCH.] VOSS) seedlings. *New Forests*, 13: 91-104.
- LICHTENTHALER H. K., BABANI F., LANGSDORF G., BUSCHMANN C. 2000. Measurement of differences in red chlorophyll fluorescence and photosynthetic activity between sun and shade leaves by fluorescence imaging. *Photosynthetica*, 38: 521-529.
- LICHTENTHALER H. K., BUSCHMANN C., KNAPP M. 2005. How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio Rfd of leaves with the PAM fluorometer. *Photosynthetica*, 43: 379-393.
- MAXWELL K., JOHNSON G. J. 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51: 659-668.
- MOHAMMED G. H., BINDER W. D., GILLIES S. L. 1995. Chlorophyll fluorescence: a review of its practical forestry applications and instrumentation. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 10: 383-410.
- MOHAMMED G. H., ZARCO-TEJADA P., MILLER J. R. 2003. In: Dell J. R., Toivonen P. M. A. (eds.): *Applications of chlorophyll fluorescence in forestry and ecophysiology. Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology*. Boston, Kluwer Academic Publishers: 79-124.
- PERKS M. P., MONAGHAN S., O'REILLY C., OSBORNE B. A., MITCHELL D. T. 2001. Chlorophyll fluorescence characteristics, performance and survival of freshly lifted and cold stored Douglas fir seedlings. *Annals of Forest Science*, 58: 225-235.

- REPO T., LEINONEN I., RYYPÖ A., FINÉR L. 2004. The effect of soil temperature on the bud phenology, chlorophyll fluorescence, carbohydrate content and cold hardiness of Norway spruce seedlings. *Physiologia Plantarum*, 121: 93-100.
- RITCHIE G., LANDIS T. D. 2005. Seedling quality tests: Chlorophyll fluorescence. *Forest Nursery Notes*, USDA Forest Service, Winter. Portland, USDA Forest Service. Pacific Northwest Region: 12-16.
- ROBAKOWSKI P. 2005. Susceptibility to low-temperature photoinhibition in three conifers differing in successional status. *Tree Physiology*, 25: 1151-1160.
- ROHÁČEK K. 2002. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. *Photosynthetica*, 40: 13-29.
- SAMPSON P. H., TEMPLETON C. W. G., COLOMBO, S. J. 1997. An overview of Ontario's Stock Quality Assessment Program. *New Forests*, 13: 469-487.
- SCHREIBER U., SCHLIWA U., BILGER W. 1986. Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer. *Photosynthesis Research*, 10: 51-62.
- SCHREIBER U., BILGER W., NEUBAUER C. 1995. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: Schultze E. -D., Caldwell M. M. (eds.): *Ecophysiology of photosynthesis*. Berlin, Springer-Verlag: 49-70.
- STRAND M., LUNDMARK T. 1995. Recovery of photosynthesis in 1-year-old needles of unfertilized and fertilized Norway spruce (*Picea abies* (L.) KARST.) during spring. *Tree Physiology*, 15: 151-158.
- ŠPULÁK O., MARTINCOVÁ J. 2006. In: Jurásek A., Novák J., Slodičák M. (eds.): *Stabilization of forest functions in biotopes disturbed by anthropogenic activity*. Opočno 5. – 6. 9. 2006. Jíloviště-Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti-VS Opočno: 425- 434.
- Walz Heinz GmbH: Imaging - PAM chlorophyll fluorometer. Instrument description and information for users. 2.143/02.2003, 4. edition. February 2004, 134 s.

PHYSIOLOGICAL STATE ASSESSMENT OF FIR (*ABIES ALBA* MILL.) PLANTS IN GROWTH CHAMBER BY MEANS OF CHLOROPHYLL FLUORESCENCE MEASUREMENT

SUMMARY

Experiment aimed to probe the influence of temperature leading to breaking of dormancy and light conditions on state and reactions of assimilation apparatus of fir (*Abies alba* MILL.) plants were realized in growth chamber. Possibilities of using chlorophyll fluorescence measurements for evaluation of the physiological state of plants were assessed at the same time. During early spring vigorous and stressed plants were planted into containers and placed in growth chamber (temperature 20 ± 2 °C, 16 hours photoperiod, light intensity 1,000 – 1,200 lx, in shaded conditions about 200 lx). Chlorophyll fluorescence was measured weekly by Imaging-PAM 2000 (Walz, Effeltrich, Germany).

After about 30 days in growth chamber flushing of plants started. Growth of new shoots occurred in most of plants after 40 days in favourable conditions. Chlorophyll fluorescence measurement showed marked increase of Fv/Fm (maximal quantum yield of photosystem 2 photochemistry) on the first day in growth chamber (Fig. 1). Another increase occurred during the next week. This pattern is related to marked increase of temperature when plants were placed into growth chamber as well as to plant dormancy loss. During the third week of experiment the influence of different lighting appeared. Non-shaded plants showed significant higher Fv/Fm than shaded ones. These differences lasted to the end of experiment (Fig. 1).

Marked differences occurred between vigorous plants and plants stressed during handling which did not flush and later declined. Statistically significant differences in minimal fluorescence of dark adapted needles (Fo), maximal quantum yield of photosystem 2 photochemistry (Fv/Fm) and absorption (ABS) between vigorous and stressed plants occurred already at the beginning of the experiment, as soon as the plants were placed in growth chamber (Fig. 2, Tab. 1) and lasted for some weeks (Fig. 3).

The assessment of electron photosynthetic transport (ETR) during increased radiation (Fig. 4, 5) showed marked differences between vigorous and stressed plants, too.

The results suggest the possibility of assessment of plant physiological quality by means of the fast and non-destructive method of chlorophyll fluorescence measurement.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Jan Leugner, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno
Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Česká republika
tel.: 494 668 391-2; e-mail: leugner@vulhmop.cz