

# VLIV SPEKTRÁLNÍHO SLOŽENÍ FOTOSYNTETICKY AKTIVNÍ RADIACE NA AKTIVITU TRANSPORTU ELEKTRONŮ PŘES FOTOSYSTÉM II

**Marková Zuzana<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Katedra biologie a ekologie, Chittusiho 10, Slezská Ostrava, 710 00, P13049@student.osu.cz*

## **Abstrakt**

Tato práce je zaměřena na vliv červené a modré složky světla na elektronový transport přes fotosystém II (ETR) u rostliny *Xanthium strumarium* L. Červená a modrá složka světla ovlivňuje rychlosti asimilace CO<sub>2</sub>, rychlost elektronového transportu přes fotosystém II, kvantový výtěžek fotosystému II, průduchovou vodivost a fotorespiraci a to v závislosti na intenzitě fotosynteticky aktivní radiace. Výsledky ukazují, že červená složka světla je pro fotosyntézu efektivnější na rozdíl od složky modré, ačkoliv při modrém světle jsou průduchy více otevřené a to v konečném důsledku, díky zvýšené difúzi CO<sub>2</sub> dovnitř listu, snižuje účinnost fotorespirace. Také bylo zjištěno, že na asimilaci jedné molekuly CO<sub>2</sub> je u intenzity světla 50 μmol fotonů m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> modrého světla zapotřebí přibližně 14 elektronů a červeného světla 9 elektronů.

***Klíčová slova:*** *elektronový transport; fotosynteticky aktivní radiace*

## **Úvod**

Fotosynteticky aktivní radiace (FAR) je světelné záření v oblasti vlnových délek 400 – 700 nm, které rostlina využívá pro fotosyntézu. V této práci je zkoumán vliv červené a modré složky FAR na fotosyntézu, protože jsou listem nejvíce absorbovány[9].

Penetrace světla listem je významnou měrou ovlivněna anatomii listu, směrovostí a vlnovou délkou světla. Modré a červené světlo je silně absorbováno v prvních 20% palisádového mezofylu. Palisádový mezofyl listu pak pravděpodobně funguje, jako rozvodný kanál pro světlo a umožňuje pronikání světla hlouběji do houbového mezofylu. [2,8) Podle Vogelmann a Hana [11] je množství červeného světla, které je absorbovaného chlorofylem hlouběji v listu větší, než modrého a to v důsledku toho, že většina modrého světla je zachycena chloroplasty u povrchu listu. Nicméně, ve vrchních částech listu je energie pro fotosyntézu zajištěna právě z červeného a modrého světla.

Vliv modrého světla na fotosyntézu závisí na intenzitě a trvání světelného pulzu. Modré světlo stimuluje otevírání průduchů a pohyb chloroplastů. Modré světlo prostřednictvím těchto dvou procesů ovlivňuje fotosyntézu [1]. Úloha průduchů spočívá v kontrolování příjmu CO<sub>2</sub> a výdeje vody [9]. Průduchy obsahují fotoreceptory fototropiny, které odpovídají na modré světlo otevíráním průduchů [12]. Když se otevřou průduchy, dojde k vyšší difúzi CO<sub>2</sub> do intracelulárních prostorů listu. Důsledkem vyšší difúze CO<sub>2</sub> je zvýšení mezofylové vodivosti. Mezofylová vodivost může za vysokých intenzit modrého světla redukovat fotosyntetickou účinnost. Modré světlo také indukuje pohyb chloroplastů. Nedávné studie prokázaly, že pohyb chloroplastů kontrolují fototropiny. Jako důsledek vystavení listu silnému modrému světlu, se chloroplasty pohybují směrem k antiklinální buněčné stěně, aby minimalizovaly plochu, která je tomuto silnému světlu vystavena. Touto vyhýbavou odpovědí, chloroplasty chrání fotosyntetický aparát před vysokými intenzitami světla [10]. Nicméně, tato vyhýbavá odpověď chloroplastů negativně ovlivňuje mezofylovou vodivost, protože je redukována plocha chloroplastu, která je vystavena intercelulárnímu prostoru, odkud se CO<sub>2</sub> transportuje do chloroplastu [5]. Při nízkých

intenzitách modrého světla se chloroplasty pohybují k periklinální buněčné stěně, ve snaze zvýšit účinnost zachycení světla pro fotosyntézu [10].

Vztah mezi červeným světlem a průduchy ještě není zcela jasný. Předpokládá se, že pohyb průduchů je kontrolován redoxním stavem komponent fotosyntetického transportního elektronového řetězce, zejména redoxním stavem plastochinonu [3].

Poměr koncentrace  $O_2$  a  $CO_2$  v listu je důležitý ve dvou reakcích – fotosyntéze a fotorespiraci. V celé záležitosti hraje rozhodující úlohu enzym ribulóza-1,5- bisfosfát (Rubisco), jež má dvojí aktivitu – karboxylázovou (při fotosyntéze) a oxygenační (při fotorespiraci). Katalyzuje kompetitivní reakce a upřednostňuje oxygenační reakci v případě, že dojde ke snížení koncentrace  $CO_2$  uvnitř listu, případně nárůstu teploty [6]. Fotorespirace by měla být upřednostňována za vysokých intenzit světla, protože rychlost fotorespirace je spojena s fotosyntetickým metabolismem a měla by vykazovat stejnou závislost na intenzitě FAR. [4].

Tato práce zkoumala vliv spektrální kvality fotosynteticky aktivní radiace (FAR) na procesy spojené s fotosyntetickým aparátem jako rychlost asimilace  $CO_2$ , rychlost elektronového transportu přes PSII, počet elektronů na asimilaci 1 molekuly  $CO_2$  a jiné v závislosti na FAR.

## **Materiál a metody**

K měření byly použity plně vyvinuté listy řepně durkomanu (*Xanthium strumarium L.*) v rozmezí stáří od 1 do 2 měsíců. Které byly pěstovány v růstové komoře (*HB 1014, Biolone-Heraeus, Německo*) při teplotě 24/18 °C den/noc, ozáření 600  $\mu\text{mol fotonů m}^{-2}\text{s}^{-1}$  za fotosynteticky aktivní radiace, relativní vlhkosti 65 % a režimu 16/8 hodin den/noc.

K měření fotosyntetických veličin byl použit přístroj Li-6400 (*Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA*) s fluorescenční listovou komorou Li-6400-40 (*Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA*), kde měřená plocha listu činila 2  $\text{cm}^2$ . Zdrojem světla ve fluorescenční komoře byly LED diody.

Měřeny byly světelné křivky fotosyntézy při teplotě listů 25°C, koncentraci  $CO_2$  v referenční komoře 400  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a ozáření v následujícím pořadí 50, 100, 150, 200 a 250  $\mu\text{mol fotonů m}^{-2}\text{s}^{-1}$  při normálním a sníženém kyslíku, červeném a následně modrém světle. Rychlost elektronového transportu přes PSII (ETR) při dané ozáření (PPFD), kvantovém výtěžku PSII ( $\Phi_{PSII}$ ) a parametru  $\alpha$ , se vypočítá podle rovnice

$$ETR = \Phi_{PSII} \times PPFD \times \alpha \times 0.5$$

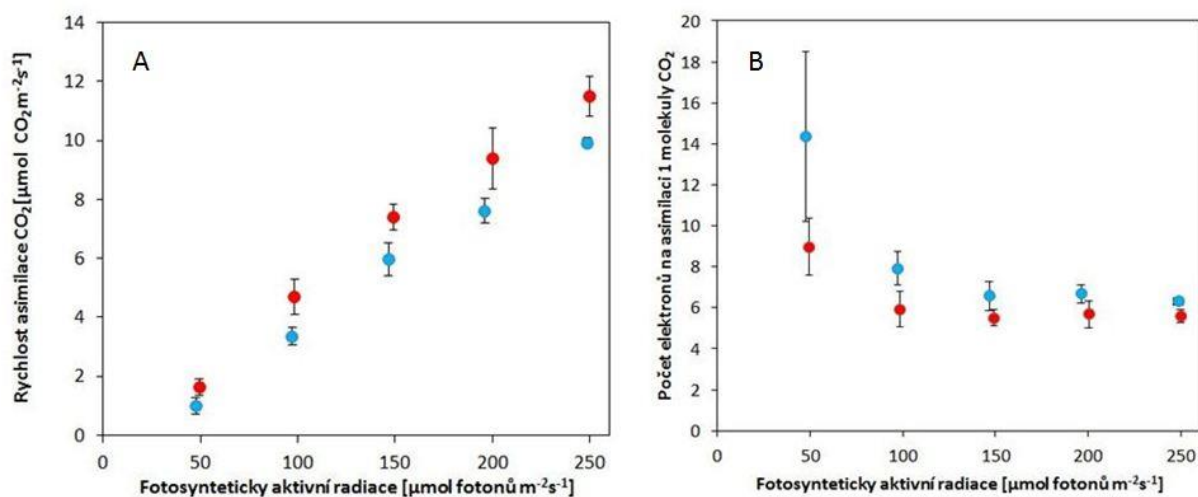
Z rozdílu fotosyntézy při 1% a 21% kyslíku byla vypočítána fotorespirace pro modré a červené světlo.

## **Výsledky a diskuse**

Z měření světelných křivek fotosyntézy (obr. č. 1 A) je zřetelné, že s narůstající intenzitou červené složky FAR byla fotosyntéza účinnější, než u složky modré. Tento rozdíl mezi jednotlivými světly se zvyšoval s narůstající intenzitou FAR a největší byl u intenzity 250  $\mu\text{mol fotonů m}^{-2}\text{s}^{-1}$  FAR. Modré světlo stimuluje otevírání průduchů 20 krát více než červené [7], proto jsem předpokládala, že díky vyšší difúzi  $CO_2$  do míst asimilace, bude fotosyntéza u modrého světla vyšší. Nicméně mé data tuto teorii nepotvrzují, právě naopak. Elektronový transport je u modrého světla vyšší (data nejsou zobrazena). Z toho můžeme vyvodit, že u modrého světla je zapotřebí více elektronů na asimilaci  $CO_2$ . Bylo vypočteno, kolik elektronů je zapotřebí na asimilaci 1 molekuly  $CO_2$  (obr. 1 B). Při nejnižších intenzitách modré složky FAR bylo k asimilaci zapotřebí 15 elektronů. S nárůstem intenzity FAR se snižovala potřeba elektronů. U červeného světla byl počet elektronů celkově nižší. Dále byla vypočtena fotorespirace z gazometrických měření (data nejsou zobrazena). Data jasně prokázala, že při červeném světle je

fotorespirace vyšší než při modrém světle. To je v korelaci s tvrzením, že u modrého světla narůstá intercelulární koncentrace  $\text{CO}_2$  a tím pádem je upřednostňována fotosyntéza, z čehož vyplývá, že fotorespirace bude nižší než u červeného světla [1]. Navíc, jak uvedli Kangärsjarvi a kol. [4], vyšší intenzity světla by měly upřednostňovat fotorepirační tok, protože rychlost fotorespirace je spojena s fotosyntetickým metabolismem a měly by vykazovat stejnou závislost na intenzitě FAR. Naše výsledky ukazují obdobnou závislost. Jak u fotorespirace (data nejsou zobrazena), tak u fotosyntézy, byly výsledky pro červené a modré světlo FAR shodné a vykazovaly stejnou závislost na intenzitě FAR tak, jak navrhoval právě Kangärsjarvi a kol [4].

Jedna z dalších příčin, která by mohla ovlivnit mé výsledky, je pohyb chloroplastů, které reagují na modré světlo [10]. Dále pak anatomie listu, penetrace světla listem a v neposlední řadě také mezofylová vodivost [5,2].



**Obrázek 1.:** (A) Závislost rychlosti asimilace  $\text{CO}_2$  na fotosynteticky aktivní radiaci při modrém (modré plné kruhy) a červeném světle (červené plné kruhy) při normálním kyslíku (21%). (B) Počet elektronů na asimilaci 1 molekuly  $\text{CO}_2$  v závislosti na fotosynteticky aktivní radiaci měřené při červeném (červené plné kruhy) a modrém (modré plné kruhy) světle a normálním kyslíku (21%). Měření byla provedena na listech řepeň durkomanu. Jednotlivé body jsou průměrem ze 4 měření a chybové úsečky značí směrodatné odchylky ze 4 měření.

## Závěr

Z experimentů jsem došla k závěrům, že pro rychlost asimilace  $\text{CO}_2$  v závislosti na použité složce FAR je červené světlo efektivnější než modré světlo. K tomu aby mohla být asimilována 1 molekula  $\text{CO}_2$  je zapotřebí okolo 6 elektronů při nejvyšších intenzitách FAR (250  $\mu\text{mol fotonů m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). Fotorespirace je závislá na složce použité FAR. Závěrem jsou tady dva protichůdné pochody. Při nízké koncentraci  $\text{CO}_2$  v podprůduchové dutině červené světlo indukuje vyšší fotosyntézu, ale zároveň je snižována vyšší fotorespirací na červeném světle na rozdíl od modrého světla, kde nižší fotosyntéza je navýšena nízkou fotorespirací.

## Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce Mgr. Danielu Vrábloví za jeho čas, vedení a trpělivost. Také Mgr. Materové Zuzaně za naměření spektrálně optických vlastností listu a v neposlední řadě Doc. RNDr. Vladimíru Špundovi, CSc. za hodnotné připomínky. Tato práce byla podpořena Ostravskou univerzitou v Ostravě (SGS21/PřF/2014).

## Literatura

- [1.] ABIDI, F., GIRAULT, T., DOUILLET, O., GUILLEMAIN, G., SINTES, G., LAFFAIRE, M., BEN AHMED, H., SMITI, S., HUCHÉ-THÉLIER, L. a LEDUC, N. *Blue light effects on rose photosynthesis and photomorphogenesis*. Plant Biology. 2013, roč. 15, č.1, s. 67-74
- [2.] BRODERSEN, C. R. a VOGELMANN, T. C. *Do changes in light direction affect absorption profiles in leaves?* Functional Plant Biology. 2010, roč. 37, s. 403-412
- [3.] BUSCH, F. A. *Opinion: The red-light response of stomatal movement is sensed by the redox state of the photosynthetic electron transport chain*. Photosynthesis Research. 2014, roč. 119, č. 1-2, s. 131-140
- [4.] KANGASJÄRVI, S., NEUKERMANS, J., LI, S., ARO, E. –M. a NOCTOR, G. *Photosynthesis, Photorespiration, and light signalling in defence responses*. Journal of Experimental Botany. 2012, roč. 63, č. 4, s. 1619-1636
- [5.] LORETO, F., TSONEV, T. a CENTRITTO, M. *The impact of blue light on leaf mesophyll conductance*. Journal of Experimental Botany. 2009, roč. 60, s. 2283-2290
- [6.] ORT, D. R. a BAKER, N. R. *A photoprotective role for O<sub>2</sub> as an alternative electron sink in photosynthesis?* Current Opinion in Plant Biology. 2002, roč. 5, s. 193-198
- [7.] SHARKEY, T. D. a RASCHKE, K. *Effect of light quality on stomatal opening in leaves of Xanthium strumarium L.* Plant physiology, 1981, roč. 68, s. 1170-1174
- [8.] SUN, J., NISHIO, J. N. a VOGELMANN, T.C. *Green light drives CO<sub>2</sub> fixation deep within leaves*. Plant and Cell Physiology. 1998, roč. 39, s. 1020-1026
- [9.] TAIZ, L. a ZEIGER, E. *Plant Physiology*. 5. Vydání, USA: Sinauer Associates, Inc, 2010, str. 782. ISBN 978-0-87893-866-7
- [10.] TLALKA, M., RUNQUIST, M. a FRICKER, M. *Light perception and the role of the xanthophyll cycle in blue-light-dependent chloroplast movements in Lemna trisulca L.* The Plant Journal. 1999, roč. 20, č.4, s. 447-459
- [11.] VOGELMANN, T.C. a HAN, T. *Measurement of gradients of absorbed light in spinach leaves from chlorophyll fluorescence profiles*. Plant, Cell and Environment. 2000, roč. 23, s. 1303-1311
- [12.] WADA, M., KAGAWA, T. a SATO, Y. *Chloroplast movement*. Annual Review of Plant Biology. 2003, roč. 54, s. 455-468

## Abstract

This paper is focused on the research of influence of red and blue light on the electron transport rate via photosystem II at *Xanthium strumarium L.* plant. Red and blue part of light have influence on CO<sub>2</sub> assimilation rate, electron transport rate via photosystem II, quantum yield of photosystem II, stomatal conductance and photorespiration in relation with intensity of photosynthetically active radiation. Results showed that red light is more effective than blue light for photosynthesis. So I found that the guard cells are more opened on the blue light than red. This causes, CO<sub>2</sub> diffuses more effectively to intercellular spaces in leaves and then photorespiration is less effective. Moreover, it was found out that 14 electrons needed for assimilation of one molecule of CO<sub>2</sub> for blue light and 9 electrons for red light at 50 μmol photons m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> of intensity of FAR.