

WPLYW CHŁODU I ZWIĘKSZONEGO PAR NA FLUORESCENCJĘ CHLOROFILU W LIŚCIACH ROŚLIN POMIDORA

Antoni Murkowski

Zakład Fizyki, Akademia Rolnicza w Szczecinie

Wstęp

Chłód czyli niska, dodatnia temperatura wpływa hamująco na wzrost, rozwój i inne procesy fizjologiczne roślin chłodowrażliwych takich jak np.: kukurydza, pomidor, ogórek i fasola. Przyczyną tych objawów są między innymi zakłócenia w selektywnej przepuszczalności błon cytoplazmatycznych, modyfikacja ultrastruktury chloroplastów i zmniejszenie efektywności fotosyntezy [BRÜGGEMANN i in. 1992; STARCK i in. 1994].

Badania mechanizmu chłodowrażliwości roślin pomidora doprowadziły do wniosku, że w warunkach długotrwałego chłodu promieniowania fotosyntetycznego (PAR) nawet o umiarkowanym natężeniu, może wywołać niskotemperaturową fotoinhibicję procesu fotosyntezy, zakłócenie funkcji PS II oraz spowodować inaktywację enzymów cyklu Calvina [BRÜGGEMANN i in. 1992; VENEMA i in. 1997]. W następstwie tych zjawisk maleje efektywność reakcji fotochemicznej w PS II, spowolnieniu ulega transport elektronów i zmniejsza się wydajność fotofosforylacji [BAKER i in. 1988; PEELER, NAYLOR 1988]. Niska temperatura jest dla roślin chłodowrażliwych szczególnie niebezpieczna gdy występuje w połączeniu z promieniowaniem słonecznym. W takiej sytuacji, nawet umiarkowane napromieniowanie zielonych tkanek roślin w zakresie PAR (400–700 nm), może spowodować nadprodukcję stanów wzbudzonych w centrach reakcji obu fotosystemów (PS I i PS II). Dezaktywacja wzbudzonych cząsteczek chlorofilu następuje częściowo na drodze rozproszenia ciepła i wzmożonej fluorescencji, a częściowo poprzez przekazanie nadmiaru energii na cząsteczki tlenu. Tworzą się wówczas aktywne formy tlenu, które inicjują szereg szkodliwych reakcji jak np. wolnorodnikowe utlenianie lipidów w tylakoidach [RICHTER i in. 1992], fotoutlenianie barwników fotosyntetycznych i zakłócenia reakcji fazy świetlnej fotosyntezy znajdujące odbicie w przebiegu indukcji fluorescencji chlorofilu [LICHTENTHALER, RINDERLE 1988; SCHAPENDONK i in. 1992; JUNG, STEFFEN 1997; MURKOWSKI, SKÓRSKA 1997].

Celem pracy jest ocena wpływu obniżonej temperatury przy słabym i zwiększonym natężeniu PAR, na przebieg reakcji fazy świetlnej fotosyntezy w liściach roślin pomidora należących do dwóch odmian o zróżnicowanej chłodowrażliwości. Stopień inhibicji reakcji fotosyntezy oceniano wyznaczając wybrane parametry indukcji fluorescencji chlorofilu.

Materiał i metody

Rośliny pomidora odmiany Promyk (bardziej tolerancyjnej na chłód) i Robin (chłodowrażliwej), uprawiano w pojemnikach z piaskiem, podlewając pożywką Hoaglanda (50%), przy oświetleniu lampami LRFR 400 (PPFD = $150 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), w temperaturze 24/18°C, (12 godz./12 godz, dzień/noc) oraz przy wilgotności względnej powietrza 70–80%. Po upływie 20 dni, gdy rośliny obu odmian pomidora były w fazie 2–3 liści, z najmłodszych w pełni rozwiniętych liści wycinano po trzy krążki o średnicy 11 mm (jeden dla serii K, drugi dla serii S1, a trzeci dla serii S2), które umieszczano na powierzchni wody destylowanej w oddzielnych szalkach. Jedną serię szalek (seria K) umieszczono w termoluminostacie, gdzie temperatura i oświetlenie zbliżone były do poprzednich warunków wzrostu (22°C; PPFD = $140 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), drugą serię (S1) przeniesiono do innego termoluminostatu gdzie obniżono temperaturę i zmniejszono oświetlenie (4°C; PPFD = $20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) natomiast trzecią (S2) do termoluminostatu gdzie warunki sprzyjały niskotemperaturowej fotoinhibicji (4°C; PPFD = $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Po 2 godz. wykonywano pomiary indukcji fluorescencji chlorofilu przy użyciu aparatu PAM-200, na krążkach wszystkich trzech serii. Wyznaczono parametry: maksymalną efektywność reakcji fotochemicznej (F_v/F_m), powierzchnię nad krzywą indukcji fluorescencji (A_m), wskaźnik witalności (Rfd) oraz całkowitą wydajność konwencji energii fotonów PAR na energię chemiczną (Y) [SCHREIBER 1997]. Wszystkie pomiary wykonywano w 6 powtórzeniach.

Wyniki przedstawiono jako średnie arytmetyczne z sześciu powtórzeń (tab. 1). Dla każdej pary średnich obliczono najmniejsze różnice istotne, stosując test t-Studenta. Różnice istotne statystycznie na poziomie 0,05 oznaczono (*), na poziomie 0,01 (**), a na poziomie 0,001 (***)

Wyniki i dyskusja

Z porównania wartości wyznaczonych parametrów dla liści badanych odmian pomidora nie poddanych czynnikom stresowym (wariant K) wynika, że rośliny odm. Robin wykazywały potencjalnie wyższą zdolność do efektywnej fotosyntezy co daje podstawy do prognozowania ich wyższej produktywności w optymalnych warunkach np. w uprawach szklarniowych.

Pod wpływem chłodu (wariant S1) następowało znaczne obniżenie wartości wszystkich parametrów fluorescencji chlorofilu w liściach obu odmian, jednak rośliny odm. Promyk okazały się bardziej tolerancyjne. W warunkach chłodu wartości ich wskaźników fluorescencji przewyższały analogiczne wartości wyznaczone dla roślin odm. Robin. Gdy u roślin odm. Promyk wskaźnik Rfd obniżył się o ok. 30%, a ogólna wydajność reakcji fazy świetlnej fotosyntezy Y o ok. 18% to wartości tych samych parametrów u odm. Robin zmniejszyły się odpowiednio o 44% i o 36%. Dość często występująca w czasie wegetacji kombinacja stresu chłodu i zwiększonego napromieniowania (wariant S2) spowodowała znacznie większe obniżenie wartości wszystkich parametrów, co sygnalizuje poważną inhibicję procesu fotosyntezy roślin obu odmian. Jednakże i w warunkach jednoczesnego działania obydwóch badanych stresów wartości parametru F_v/F_m związanego ze sprawnością reakcji fotochemicznej w PS II, były istotnie wyższe u roślin odm. Promyk. Dotyczyło to również wskaźnika witalności Rfd, którego wartość w relacji do

kontroli obniżyła się u odm. Promyk w mniejszym stopniu (spadek o 79%) niż odm. Robin (spadek o 84%).

Tabela 1; Table 1

Wartości parametrów fluorescencji chlorofilu w liściach badanych odmian pomidora:

K – wariant kontrolny; S1 – poddane stresowi chłodu;

S2 – poddane stresowi chłodu i silnego światła

Chlorophyll fluorescence parameters of leaves of studied tomato cultivars:

K – control; S1 – subjected to chilling stress; S2 – subjected to chilling and light stress

| Wariant Variant | Odmiana Cultivar | F_v/F_M | A_M | Rfd | Y |
|--------------------|---------------------|-----------|-------|-------|-------|
| K | Promyk | 0,758 | 10,60 | 2,11 | 0,616 |
| | Robin | 0,771 | 10,62 | 2,41 | 0,642 |
| | NIR; LSD | ** | br | *** | * |
| S1 | Promyk | 0,721 | 6,5 | 1,47 | 0,503 |
| | Robin | 0,698 | 7,0 | 1,35 | 0,411 |
| | NIR; LSD | *** | br | *** | *** |
| S2 | Promyk | 0,299 | 3,8 | 0,444 | 0,101 |
| | Robin | 0,252 | 3,3 | 0,447 | 0,106 |
| | NIR; LSD | *** | br | br | br |

*, **, *** – różnice istotne na poziomie istotności oznaczono odpowiednio: 0,05; 0,01 i 0,001; difference significant at the significance level 0.05; 0.01; 0.001 marked as respectively

br – brak różnicy istotnej na poziomie 0,05; difference not significant at the level of 0.05

F_v/F_M – maksymalna efektywność reakcji fotochemicznej w PS II; maximum photochemical efficiency of the PS II

A_M – powierzchnia nad krzywą indukcji fluorescencji, wartość parametru określa wielkość puli akceptorów elektronów w PS II; area above the fluorescence induction curve, value of the parameter determines the integral quantity of electron acceptors in PS II

Rfd – wskaźnik vitalności informujący o potencjalnej aktywności fotosyntetycznej liścia; indicator of vitality informs about potential photosynthetic activity of a leaf

Y – całkowita wydajność konwersji energii fotonów PAR na energię chemiczną; overall yield of PAR photons energy conversion on the chemical energy

Wnioski

1. Z przeprowadzonych badań wynika, że rośliny pomidora odmiany Promyk (odm. karłowata, wczesna, gruntowa) jest lepiej przystosowana do tolerowania stresu chłodowego w porównaniu z roślinami wysokoproduktywnej odmiany szklarniowej Robin.
2. Pomiary fluorescencji chlorofilu nie tylko dostarczają informacji o reakcjach fazy świetlnej fotosyntezy, ale mogą być także dogodnym narzędziem oceny stanu fizjologicznego roślin uprawnych oraz służyć do oceny ich odporności na niekorzystne czynniki środowiska.

Literatura

BAKER N.R., LONG S.P., ORT D.R. 1988. *Photosynthesis and temperature, with particular reference to effects on quantum yield*, w: *Plant and Temperature*. Great Britain Soc. for Exp. Biol.: 347–375.

- BRÜGGEMANN W., VAN DER KOOIJ T.A.W., VAN HASSELT P.R. 1992. *Long-term chilling of young tomato plants under low light and subsequent recovery. I. Growth development and photosynthesis*. *Planta* 186: 172–178.
- JUNG S., STEFFEN K.L. 1997. *Influence of photosynthetic photon flux densities before and during long-term chilling on xanthophyll cycle and chlorophyll fluorescence quenching in leaves of tomato (*Lycopersicon hirsutum*)*. *Physiol. Plant.* 100: 958–966.
- LICHTENTHALER H., RINDERLE U. 1988. *The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants*. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 19 (1): 29–85.
- MURKOWSKI A., SKÓRSKA E. 1997. *Chlorophyll a luminescence, an index of photoinhibition damages*. *Current Topics in Biophys.* 21(1): 72–78.
- PEELER T.C., NAYLOR A.W. 1988. *A comparison of the effects of chilling on thylakoid electron transfer in pea (*Pisum sativum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.)*. *Plant Physiol.* 86: 147–151.
- RICHTER M., BOTHIN B., WILD A. 1992. *The differential effect of photoinhibition on the quantum yield of oxygen evolution and on the electron transport capacity studied with isolated spinach thylakoids*. *Photosynthetica* 27(1–2): 191–200.
- SCHAPENDONK A.H.C.M., VAN DER PUTTEN P.E.L., DOLSTRA O., TONK W.I.M. 1992. *Chlorophyll fluorescence: a non-destructive method for detecting damage in the photosynthetic apparatus in plants*. *Acta Hort.* 304: 61–70.
- SCHREIBER U. 1997. *Chlorophyll fluorescence and photosynthetic energy conversion*. Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Germany.
- STARCK Z., CHOLUJ D., KALAJI H.M. 1994. *Photosynthesis and biomass allocation as response to chilling tomato plants*. COST 814 Workshop, Dörffling et al. (Eds.), Brussels – Luxembourg: 125–132.
- VENEMA J.H., KOK B.H., VAN HASSELT P.R. 1997. *Effects of sub-optimal temperature on growth, leaf pigments and photosynthesis of *Lycopersicon* species of different chilling sensitivity*. COST 814 Workshop, Sowiński et al. (Eds.), Luxembourg: 76–82.

Słowa kluczowe: chłód, fotosynteza, indukcja fluorescencji chlorofilu, pomidor

Streszczenie

Badano wpływ krótkotrwałego (2 godz.) okresu chłodu (4°C) oraz chłodu połączonego z silnym promieniowaniem PAR (4°C; 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) na fluorescencję chlorofilu w liściach dwóch odmian pomidora: Promyk (tolerancyjnej) i Robin (wrażliwej na chłód). Przebieg indukcji fluorescencji chlorofilu mierzono przy pomocy fluorymetru PAM 200. Stopień dysfunkcji aparatu fotosyntetycznego oraz zakłócenia reakcji fazy świetlnej fotosyntezy były oceniane poprzez zmiany wartości parametrów fluorescencji chlorofilu (F_v/F_m , A_M , Rfd i Y). Z porównania tych parametrów wynika, że rośliny odmiany Promyk są znacznie bardziej odporne na chłód i posiadają nieco wyższą odporność na chłód połączony z silnym światłem od roślin pomidora odmiany Robin.

EFFECT OF CHILLING AND HIGH LIGHT ON CHLOROPHYLL FLUORESCENCE OF TOMATO PLANTS

Antoni Murkowski

Department of Physics, Agricultural University, Szczecin

Key words: chilling, chlorophyll fluorescence induction, primary photosynthesis reaction, tomato

Summary

The study focused on the influence of short-term (2 h) chilling (4°C) at chill with high light (PAR) (4°C; 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), on the chlorophyll fluorescence leaf of two tomato cultivars (cv. Promyk – tolerant, and cv. Robin – sensitive to chilling). The chlorophyll *a* fluorescence induction was measured with PAM-200 fluorometer. The degree of photosynthetic apparatus dysfunction and disturbances in the interactions between the primary photosynthesis reaction and dark enzymatic reactions were estimated through determination of chlorophyll fluorescence parameters (F_V/F_M , A_M , Rfd and Y). The comparison of the parameters indicated that cv. Promyk had considerably higher tolerance to chilling and higher tolerance to chilling and high light stress than cv. Robin.

Dr Antoni **Murkowski**

Zakład Fizyki

Akademia Rolnicza

ul. Papieża Pawła VI Nr 3

71-459 SZCZECIN