

WPLYW NISKIEJ I WYSOKIEJ TEMPERATURY NA FLUORESCENCJĘ CHLOROFILU W LIŚCIACH RZEPAKU

A. Murkowski

Zakład Fizyki AR, ul. Papieża Pawła VI Nr 3, 71-459 Szczecin

e-mail: fizyka@dedal.man.szczecin.pl

S t r e s z c z e n i e : W pracy przedstawiono fluorescencyjną metodę pomiaru odporności roślin na niską i wysoką temperaturę. Obiektami badań były młode rośliny rzepaku ozimego należące do odmian i linii charakteryzujących się różną wrażliwością na stropy termiczne. Z otrzymanych termogramów fluorescencji zerowej chlorofilu wyznaczono parametry, które najlepiej różnicowały badane genotypy pod względem ich odporności na niską i wysoką temperaturę.

S ł o w a k l u c z o w e : fluorescencja zerowa, fotosynteza, stres temperaturowy, termogramy.

WSTĘP

Na rośliny uprawne rosnące w naturalnych warunkach może oddziaływać wiele niekorzystnych czynników określanych ogólnie jako stropy środowiska. Stropy zakłócają procesy fizjologiczne roślin i mogą uszkadzać ich struktury komórkowe. Stropy o umiarkowanym nasileniu wywołują w roślinach doraźne reakcje przystosowawcze (ograniczenie transpiracji i wymiany gazowej, zwiększenie energetyzacji błon biologicznych, itp.), a także mogą indukować ekspresję genów kodujących białka odpornościowe jak np. białka szoku cieplnego (HSP), białka stresu osmotycznego, stresu niskotemperaturowego i inne [9]. Jeżeli ilość i nasilenie czynników stresowych nie przekracza genetycznie uwarunkowanej odporności rośliny to następuje jej aklimatyzacja do zmienionych niekorzystnie warunków, w przeciwnym razie roślina ginie. Proces przysto-

sowania się organizmu rośliny do stopniowo zmieniających się warunków (np. suszy, chłodu, mrozu itp.) określa się jako hartowanie.

Procesem metabolicznym szczególnie wrażliwym na czynniki stresowe jest fotosynteza. Wszelkie zakłócenia, zarówno w przebiegu reakcji fazy świetlnej jak również reakcji fazy ciemnej fotosyntezy znajdują swoje odbicie w zmianach parametrów fluorescencji chlorofilu. Fotosyntetyczne barwniki znajdujące się w chloroplastach roślin, posiadają zdolność absorpcji promieniowania o długości fali od 400 nm do 700 nm (w zakresie PAR). Tylko część zaabsorbowanej energii inicjuje fotochemiczne reakcje fotosyntezy, część jej zostaje rozproszona w postaci ciepła, a pozostała reszta jest wypromieniowana w postaci luminescencji (głównie fluorescencji chlorofilu). W optymalnych warunkach nawet 97% energii pochłoniętej przez barwniki może być wykorzystane w procesie fotosyntezy, a tylko 0,5% jest wyemitowane w postaci fluorescencji. Gdy proces fotosyntezy zostanie zablokowany (np. przez niską temperaturę, silne światło, herbicydy) to udział fluorescencji może wzrosnąć do 5,0%, a pozostała część zaabsorbowanej energii ulega dezaktywacji bezpromienistej zamieniając się na ciepło [3].

Rośliny zielne zimujące w naszych warunkach klimatycznych, do których należy m.in. rzepak ozimy, przeżywają okresy oddziaływania niskiej temperatury dzięki procesowi hartowania. Ogólnie przyjmuje się, że hartowanie roślin rzepaku zachodzi dwufazowo [1]. Pierwsza faza działania chłodu występuje gdy temperatura powietrza zbliża się do zera (od 2°C do 5°C), a druga w fazie przymrozka (temperatura od -3°C do -5°C). W późniejszych pracach zwrócono uwagę, że przedłużone hartowanie chłodowe przyczynia się do ogólnego wzrostu mrozoodporności [12]. Zahartowane komórki roślinne mogą uniknąć uszkodzeń mrozowych poprzez: (1) obniżenie potencjału wodnego protoplastu co zapobiega zbyt dużemu odpływowi wody do apoplastu, (2) obniżenie temperatury krystalizacji lodu w przestrzeniach pozakomórkowych, (3) poprzez utrzymywanie wody w stanie przechłodzenia, (4) tolerowanie efektów wzmoczonego odwodnienia protoplastu podczas tworzenia się lodu w przestrzeniach pozakomórkowych oraz (5) unikając krystalizacji lodu wewnątrz komórki, co doprowadziłoby do nieuchronnego jej zniszczenia [17]. Badania fluorescencji chlorofilu dostarczyły dużo cennych informacji, zarówno o przebiegu zjawiska krzepnięcia wody w tkankach roślinnych, jak również o wpływie niskiej temperatury na proces fotosyntezy, [14,19,25].

Podwyższona temperatura także negatywnie wpływa na przebieg reakcji fotosyntezy oraz na wymianę gazową w tkankach roślin [6,10]. Silny stres

temperaturowy może spowodować zmiany w ultrastrukturze chloroplastów i całkowicie zahamować proces fotosyntezy [7,30]. Wysoka temperatura należy do czynników stresowych, z którymi przyszło się zmierzyć już prabakteriom na pierwszych etapach ewolucji. Przetrwały tylko te, u których wytworzył się sprawny mechanizm syntezy specyficznych białek szoku termicznego (HSP), których zadaniem jest takie przebudowanie struktury błon biologicznych, aby komórki mogły nadal funkcjonować w nowych, niekorzystnych warunkach [8,26]. W roślinach najbardziej narażone na stres temperaturowy są chloroplasty, na które z racji ich funkcji i lokalizacji, najczęściej oddziałuje kilka stresów, np.: dehydratacja, stres oksydacyjny, UV, ozon, i in. Badania przeprowadzone przy użyciu techniki fotoakustycznej [10], a także wykorzystujące termogramy opóźnionej luminescencji [4] wykazały, że z dwóch fotosystemów bardziej wrażliwy na stres wysokotemperaturowy jest ewolucyjnie młodszy PSII. Znajduje to odzwierciedlenie, zarówno w zależnej od temperatury zmianie natężenia F_0 jak i w przebiegu indukcji fluorescencji, emitowanej głównie z drugiego fotosystemu [18,23,27,32]. Większą wrażliwością na stres termiczny odznaczają się rośliny posiadające zmutowany gen *psb A*, który koduje syntezę białka D1 (32 kD) związanego z akceptorem elektronów Q_B w PSII [16,24]. Dzięki tej mutacji rośliny stają się odporne na herbicydy triazynowe, ale niestety zmniejszeniu ulega również efektywność transportu elektronów w PSII, co zwiększa wrażliwość takich roślin na fotoinhibicję [15,21,22,29].

Celem pracy było zbadanie wpływu niskiej i wysokiej temperatury na zmianę wydajności kwantowej fluorescencji zerowej chlorofilu w liściach roślin rzepaku.

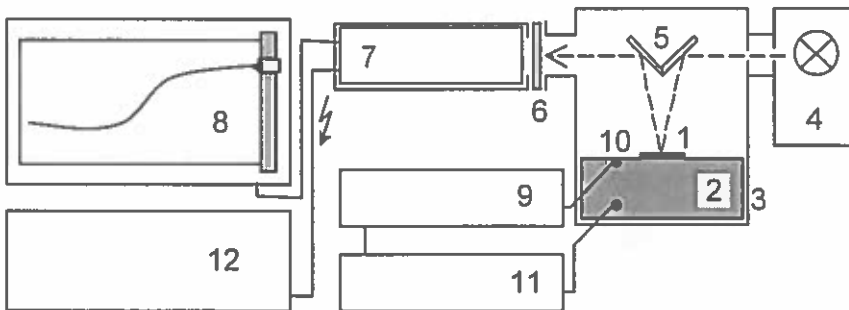
MATERIAŁ I METODA BADAŃ

Niska temperatura

W celu oceny wpływu niskiej temperatury na rośliny rzepaku, badaniom poddano liście (*Brassica napus* L.) odm. Górczański (mrozoodpornej) oraz rodu BOH 585 (o małej mrozoodporności). Rośliny rosły przez trzy tygodnie w pojemnikach z piaskiem w termoluminostacie {temp. 14/12°C, odp. dzień /noc; fotoperiod 12 h; lampy fluorescencyjne LRFR 400, gęstość strumienia fotonów PAR - PPFD ok. 200 μmol (fotonów)· $\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ }. Po 3 tygodniach, gdy rośliny były w fazie drugiego liścia, zmieniono warunki wzrostu, {PPFD ok. 100 μmol (fotonów)· $\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, temp. 8/6°C, odp. dzień /noc; fotoperiod 12 h}. Po upływie 2 tygodni, z drugich liści roślin odm. Górczański i rodu BOH 585 wycięto krążki

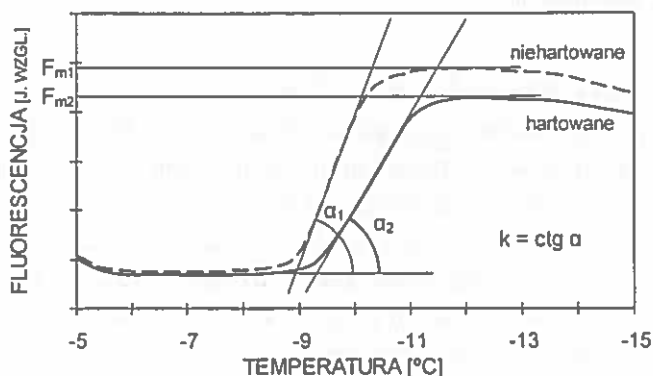
o średnicy 14 mm i wykonano termogramy fluorescencji – wariant NH. Pozostałe rośliny poddano dalszemu hartowaniu przy tych samych warunkach świetlnych, obniżając temperaturę do 3/1°C, dzień /noc. Po 2 tygodniach hartowania pobrano fragmenty liści i wykonano pomiary fluorescencyjne takie jak poprzednio – wariant H I. Pozostałe rośliny rzepaku hartowano przez następne 2 tygodnie, po których wykonano takie same pomiary fluorescencyjne – H II.

Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 1, a przykładowe przebiegi zmian natężenia fluorescencji w funkcji obniżanej temperatury na rysunku 2. W celu uzyskania termogramu, wycięte fragmenty liści (1) kładziono na powierzchni baterii termoelektrycznej (2) ochłodzonej do temperatury 0°C, a następnie baterię, wraz z fragmentem liścia umieszczano w światłoszczelnej kamerze (3). Z oświetlacza sodowego (4) do wnętrza kamery zostaje skierowany słaby strumień promieniowania monochromatycznego $\{\lambda=589\text{nm}\}$, który po odbiciu od lustra (5), pada na powierzchnię liścia $\{\text{PPFD}=0,4\mu\text{mol (fotonów) m}^2\text{s}^{-1}\}$, wzbudzając fluorescencję zerową chlorofilu – F_0 . Część fotonów F_0 , po odbiciu od lustra (5) i przejściu przez filtr $\{\lambda_{\text{max}} = 685 \text{ nm}\}$ (6), pada na fotopowielacz (7). Wyjście prądowe z (7) jest przyłączone do rejestratora (8). Programator pomiaru (9) steruje prądem zasilacza (11), obniżając temperaturę powierzchni baterii (2) z prędkością 1°C/1 min. Temperatura powierzchni (2) jest kontrolowana przez elektryczny termometr (10). Fotopowielacz jest zasilany stabilizowanym napięciem ze zasilacza (12).



Rys. 1. Schemat blokowy układu do wyznaczania termogramów niskotemperaturowej fluorescencji. Objaśnienia w tekście.

Fig. 1. Block diagram of low temperature fluorescence thermograms plotting set. Description in text.



Rys. 2. Przebieg termogramów fluorescencji chlorofilu podczas obniżania temperatury tkanek liści rzepaku. Objasnienia w tekście.

Fig. 2. Chlorophyll fluorescence thermograms plot during decreasing temperature of oilseed rape leaf tissue. Description in text.

Z krzywej temperaturowej (termogramu) fluorescencji wyznaczano parametr k będący cotangensem kąta nachylenia krzywej termogramu na odcinku jego liniowego wzrostu – rysunek 2. Parametr k najlepiej różnicował temperaturowe zmiany wydajności F_0 obu badanych grup roślin rzepaku. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1. Wartości pomiarów są średnimi arytmetycznymi z 5 powtórzeń (wykonanych na oddzielnych roślinach). Na podstawie analizy wariancji obliczono najmniejsze różnice istotne (NIR) przy pomocy testu t-Studenta na poziomie istotności 0,05.

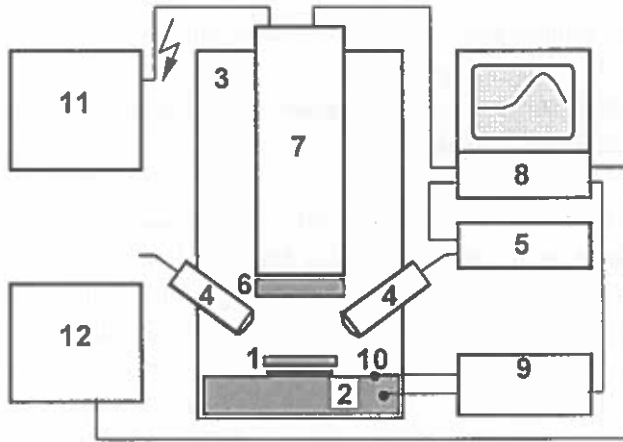
Tabela 1. Wartości współczynnika k wyznaczone z termogramu liści rzepaku o różnej mrozoodporności

Table 1. Coefficient k values derived from thermograms of different thermoresistance winter oilseed rape leaves

Rzepak ozimy	BOH 585	Górczański	NIR _{0,05} LSD _{0,05}
NH	0,10	0,12	0,03
HI	0,18	0,24	0,05
HII	0,30	0,51	0,09

Wysoka temperatura

Ocenie termowrażliwości poddano liścienie i liście roślin rzepaku (*Brassica napus* L.) odmiany Marita oraz triazynoodpornej linii 7841/1i/95. Rośliny rosły w pojemnikach z piaskiem w termoluminostacie {temp. 18/15°C, odp. dzień /noc; fotoperiod 12h; lampy fluorescencyjne LRFR 400, PPFD ok. 150 μmol (fotonów)·m⁻²·s⁻¹}. Do badań pobierano krążki o średnicy 14mm wycięte z liścieni roślin 8-dniowych oraz takie same krążki wycięte z liści roślin 18-dniowych. Termogramy F_0 w zakresie od 30°C do 70°C rejestrowano przy użyciu uniwersalnego zestawu pomiarowego – rysunek 3.

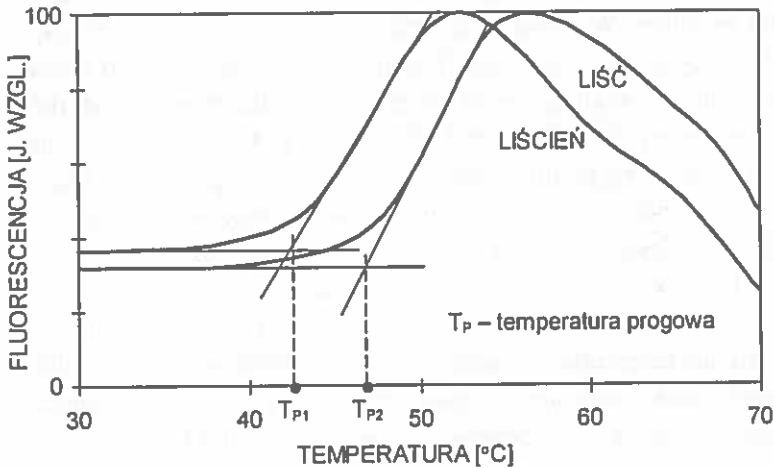


Rys. 3. Schemat blokowy układu do wyznaczania termogramów wysokotemperaturowej fluorescencji. Objaśnienia w tekście.

Fig. 3. Block diagram of high temperature fluorescence thermograms plotting set. Description in text.

Wycięte krążki (1) umieszczano we wnętrzu światłoszczelnej kamery (3) na powierzchni stolika grzejnego (2) i nakrywano płytką szklaną. Stabilizowana temperatura stolika wynosiła 30°C. Fluorescencja zerowa - F_0 była wzbudzana przez oświetlacz diodowy (4) emitujący monochromatyczne światło czerwone ($\lambda_{\text{max}} = 660 \text{ nm}$) o małej intensywności promieniowania {PPFD = 0,6 μmol (fotonów)·m⁻²·s⁻¹}. Po włączeniu programu pomiarowego następował liniowy wzrost temperatury stolika (1°C/ 20s) z jednoczesną detekcją F_0 przez fotopowielacz (7). Sygnał prądowy z fotopowielacza był przekazywany na

przetwornik A/C wbudowany w mikro-komputer (8). Otrzymywane, znormalizowane termogramy były uśredniane, a następnie wyznaczano z nich temperaturę progową – T_p . Przykładowe przebiegi uśrednionych termogramów znajdują się na rysunku 4.



Rys. 4. Przebieg termogramów fluorescencji chlorofilu podczas podwyższania temperatury tkanek liści i liścieni rzepaku. Objasnienia w tekście.

Fig. 4. Chlorophyll fluorescence thermograms plot during increasing temperature of oilseed rape leaf and cotyledons tissue. Description in text.

Wyniki pomiarów zamieszczono w tabeli 2. Każda wartość pomiaru jest średnią arytmetyczną z 6 powtórzeń. Na podstawie analizy wariancji obliczono najmniejsze istotne różnice (NIR) przy pomocy testu t-Studenta na poziomie istotności 0,05.

Tabela 2. Wartości temperatury progowej (T_p [°C]) wyznaczone z termogramów roślin dwóch genotypów rzepaku.

Table 2. Critical temperature values (T_p [°C]) derived from thermograms of two winter oilseed rape genotypes

Rzepak ozimy	Odmiana Marita	Linia 7841/1i/95	NIR _{0,05}
Liścienie	46,2	43,2	0,7
Liście	49,6	43,4	1,1

WYNIKI I DYSKUSJA

Wykonane badania wpływu niskiej temperatury na rośliny rzepaku odm. Górczański i rodu BOH 585 wykazały, że wyznaczone przed hartowaniem, wartości współczynnika k dla obu badanych grup roślin rzepaku nie różniły się, w stopniu istotnym. W wyniku procesu hartowania wartości tego współczynnika wzrastały zarówno po I jak i po II etapie, będąc każdorazowo wyższe u roślin odm. Górczański. Wskazuje to na wyższą mrozoodporność tej odmiany rzepaku, w porównaniu z rodem BOH 585. Zostało to potwierdzone w badaniach tych samych odmian przy pomocy testu luminescencyjnego [20], wykonanego przy użyciu zautomatyzowanego zestawu do oceny mrozoodporności [5]. Pomiar fluorescencji chlorofilu należą do metod bezkontaktowych, nie naruszających naturalnych funkcji komórki. Natężenie fluorescencji zerowej – F_0 (wzbudzonej słabym strumieniem promieniowania PAR) ulega małym wahaniom w szerokim zakresie zmian temperatury dodatniej. Gdy ochładzany fragment liścia osiągnie temperaturę punktu egzotermicznego (krystalizacji wody w tkance roślinnej) może nastąpić niewielki, krótkotrwały wzrost natężenia F_0 , choć częściej zdarza się, że efekt ten w ogóle nie jest zauważalny. Krótco po tym, następuje faza prawie liniowego wzrostu F_0 , do nowego, wyższego poziomu – rysunek 2. Wzrost F_0 można tłumaczyć zwiększającą się ilością zredukowanych pierwotnych akceptorów elektronów Q_A , które nie mogą zostać utlenione przez wtórny akceptor Q_B znajdujący się również w PS II [3]. Łód w tkankach roślinnych zaczyna się tworzyć najpierw w apoplazmie tzn. w przestrzeniach międzykomórkowych, ścianach komórkowych i naczyniach, powodując znaczne odwodnienie wnętrza komórki spowodowane odpływem wody z wakuoli i protoplastu. Wywołuje to, z kolei bardzo silne naprężenia również i we wnętrzu chloroplastów powodując deformację struktur białkowych w aparacie fotosyntetycznym. Badania prowadzone na roślinach poddanych silnemu odwodnieniu [1] wskazują, że towarzyszący temu wzrost wartości F_0 jest prawdopodobnie związany ze zmianami konformacyjnymi białek w PSII. W zahartowanych roślinach zwiększa się stabilność struktur białkowo – lipidowych (szczególnie w chloroplastach), co zapewnia prawidłowy przebieg procesu fotosyntezy [13].

Rejestracja i analiza termogramów fluorescencji w podwyższonej temperaturze pozwala określić graniczną temperaturę, w której mogą efektywnie zachodzić reakcje fotosyntezy. W odróżnieniu od stresu chłodowego, przy wzroście temperatury najpierw pojawiają się zakłócenia w przebiegu reakcji świetlnych fotosyntezy oraz zmiany destrukcyjne w tylakoidach, a dopiero

w dalszej kolejności następuje inaktywacja procesów enzymatycznych w fazie ciemnej. Podwyższając temperaturę tkanek liści (lub innych organów asymilacyjnych) początkowo nie rejestruje się większych zmian poziomu F_0 (Rys. 4). Po przekroczeniu charakterystycznej dla danej rośliny temperatury T_P (progowej) następuje zdecydowany, prawie liniowy wzrost natężenia F_0 . Wartość T_P (najczęściej w zakresie 42°C - 54°C) zależy od genotypu rośliny, jej stadium rozwoju, warunków wzrostu (np. temperatury dziennej i nocnej, natężenia światła, zaopatrzenia w wodę itp.) oraz współdziałania z innymi czynnikami stresowymi [10,24,28]. Wzrost natężenia F_0 powyżej T_P może być spowodowany przez: (1) odłączenie LHC II od części rdzeniowej kompleksu PSII, (2) zwrotną redukcją Q_A przez elektrony z puli PQ lub też (3) inhibicją aktu rozdziału ładunków w centrum PSII [27]. Udział każdego z wymienionych mechanizmów, jest u poszczególnych roślin różny, (zależy m. in. od ich gatunku i stadium rozwoju) wpływając zarówno na kształt krzywej temperaturowej jak i na wartość parametru T_P [2]. Po osiągnięciu maksimum natężenie F_0 maleje, co świadczy o postępującej, nieodwracalnej destrukcji aparatu fotosyntetycznego [28]. Wykorzystując metodę fluorescencyjną, można znacznie szybciej i dokładniej określić termoodporność roślin niż stosując popularny test nekrozowy [2].

WNIOSKI

1. Obie metody fluorescencyjne dobrze różnicowały badane genotypy rzepaku, które charakteryzowały się różną odpornością na stresy termiczne.
2. Proces fotosyntezy jest silnie uzależniony od temperatury i dlatego detekcja zmian fluorescencji chlorofilu jest czułym i dogodnym wskaźnikiem odporności roślin na niską i wysoką temperaturę.

PIŚMIENNICTWO

1. Bartošková H., Komenda J., Nauš J.: Functional changes of photosystem II in the moss *Rhizomnium punctatum* (Hedw.) induced by different rates of dark desiccation. *J. Plant Physiol.*, 154, 597-604, 1999.
2. Bilger H. W., Schreiber U., Lange O. L.: Determination of leaf heat resistance: comparative investigation of chlorophyll fluorescence changes and tissue necrosis methods. *Oecologia*, 63: 256-262, 1984.
3. Bolhàr-Nordenkamp H. R., Öquist G.: Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: *Photosynthesis and production in a changing*

- environment. A field and laboratory manual. (Eds Hall D. O. et al.) Chapman & Hall, London, 193-206, 1993.
4. Bukhov N. G., Dzhibladze T. G., Karapetjan N. V.: [Aftereffects of high temperatures on the kinetics of variable and delayed fluorescence in leaves.] – Fiziol. Rast., 34, 435–444, 1987. [In Russ.]
 5. Brzóstowicz A., Murkowski A.: Kwantometryczne urządzenie do oceny mrozoodporności zbóż ozimych. Zesz. Nauk. Akad. Roln. w Szczecinie, (Rolnictwo XLII seria techn.), 129, 2-8, 1987.
 6. Daniel E.: The temperature dependence of photoinhibition in leaves of *Phaseolus vulgaris* (L.). Plant Sci. 124: 1–8, 1997.
 7. Dilova S., Petkova R.: Temperature stress and functional activity of photosynthetic apparatus during its formation and after repeated darkening. Photosynthetica, 23(3), 376-379, 1989.
 8. Edreva A., Yordanov I., Kardijeva R., Gesheva E.: Heat shock responses of bean plants: involvement of free radicals, antioxidants and free radical/active oxygen scavenging systems. Biol. Plant., 41 (2), 185-191, 1998.
 9. Gwóźdź E., A.: Molekularne podstawy odpowiedzi roślin na stropy środowiskowe. W: Nowe tendencje w biologii molekularnej i inżynierii genetycznej oraz medycynie (Red. J. Barciszewski, K. Lastowski, T. Twardowski). Sorus, Poznań, 469-492, 1996.
 10. Havaux M.: Stress tolerance of photosystem II in vivo. Antagonistic effects of water, heat, and photoinhibition stresses. Plant Physiol., 100, 424-432, 1992.
 11. Kacperska-Palacz A.: Mechanism of cold acclimation in herbaceous plants. In: Plant Cold Hardiness and Freezing Stress (Eds P.H. Li, A. Sakai). Academic Press, New York, San Francisco, London, 139-152, 1978.
 12. Kacperska A.: Primary events in acclimation of herbaceous plants to low temperature. In: Crop Adaptation to Cool Climate. COST 814 Workshop, Research Progress (Eds K. Dörffling et al.) Brussels, Luxembourg, 25-36, 1994.
 13. Kacperska A.: Plant responses to low temperature stress signaling pathways involved. In: Crop development for the cool and wet regions of Europe, COST 814-II (Eds Sowiński P. Zagdańska B., Anioł A., Pithan K.) Luxembourg, 133-146, 1998.
 14. Krause G. H., Somersalo S.: Fluorescence as a tool in photosynthesis research: application in studies of photoinhibition, cold acclimatisation and freezing stress. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B, 323 281-293, 1989.
 15. Kyle O. I., Ohad J., Arntzen C. I.: Membrane protein damage and repair. Selective loss of a quinone-protein function in chloroplast membranes. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 81, 4070-4074, 1984.

16. Lemoine Y., Dubacq J. P., Zabulon G., Ducruet J. M.: Organization of the photosynthetic apparatus from triazine-resistant and -susceptible biotypes of several plant species. *Can. J. Bot.*, 64, 2999–3007, 1986.
17. Levitt J.: An overview of freezing injury and survival and its interrelationships to other stresses. In: *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress* (Eds P.H. Li, A. Sakai). Academic Press, New York, San Francisco, London, 3-15, 1978.
18. Lichtenthaler H., Rinderle U.: The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. Vol., 19 (1), 29-85, 1988.
19. Melcarek P. K., Brown G. N.: Chlorophyll fluorescence monitoring of freezing point exotherms in leaves. *Cryobiology*, 16, 69-73, 1979.
20. Murkowski A., Skórska E.: Ocena mrozoodporności roślin rzepaku przy pomocy luminescencji aparatu fotosyntetycznego. *Zesz. Probl. IHAR - Rośliny oleiste, cz.I*, 85-91, 1991
21. Murkowski A.: Biofizyczne metody badania fotosyntezy roślin rzepaku odpornych na herbicydy triazynowe. *Rośliny Oleiste*, 16(1), 127-134, 1995.
22. Murkowski A.: Luminescence assay for determination of triazine resistance of rape plants. *Proc. 2 nd International Weed Control Congress, Copenhagen 1996, Vol. II*, 541-545, 1996
23. Murkowski A.: Wpływ wysokiej temperatury na fluorescencję chlorofilu w liściach roślin pomidora. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 469, 55-61, 1999a.
24. Murkowski A.: Badanie termowrażliwości roślin rzepaku. *Rośliny Oleiste*, 20(2), 387-394, 1999b.
25. Öquist G., Huner N. P. A.: Effects of cold acclimation on the susceptibility of photosynthesis in Scots pine and in winter and spring cereals: a fluorescence analysis. *Functional Ecology*, 5, 91-100, 1991.
26. Porankiewicz J., Gwóźdź E. A.: Białka szoku termicznego i ich rola w komórkach roślinnych. *Post. Biol. Komórki*. 20 (2): 155–170, 1993.
27. Pospíšil P., Skotnica J., Nauš J.: Low and high temperature dependence of minimum F_0 and maximum F_m chlorophyll fluorescence in vivo. *Bioch. Biophys. Acta*, 1363, 95–99, 1998.
28. Schreiber U., Berry J. A.: Heat-induced change of chlorophyll fluorescence in intact leaves correlated with the damage of the photosynthetic apparatus. *Planta*, 136, 233–238, 1977.
29. Stanek R.: Effect of solar irradiation on the features of photosynthetic apparatus and on the growth of triazine susceptible and resistant biotypes of *Erigeron canadensis* L. *Zesz. Probl. Post Nauk Rol.*, 405, 163–167, 1994.

30. Starck Z., Ważyńska Z., Kucewicz O.: Comparative effects of heat stress on photosynthesis and chloroplast ultrastructure in tomato plants with source-sink modulated by growth regulators. *Acta Physiol. Plant.*, 16 (2): 125–133, 1993
31. Sundbom E., Strand M., Hällgren J., E.: Temperature-induced fluorescence changes. *Plant Physiol.*, 70, 1299-1302, 1982.
32. Terzaghi W. B., Fork D. C., Berry J. A., Field C. B.: Low and high temperature limits to PSII. - *Plant Physiol.*, 91, 1494–1500, 1989.

EFFECT OF LOW AND HIGH TEMPERATURE ON CHLOROPHYLL FLUORESCENCE IN OILSEED RAPE LEAVES

A. Murkowski

Department of Physics, Agricultural University, Papieża Pawła VI No 3, 71-459 Szczecin
e-mail: fizyka@dedal.man.szczecin.pl

Summary: A fluorescent method of estimation of plant resistance to low and high temperature is presented. The method was studied on young winter oilseed rape plants belonging to the cultivars and lines that demonstrate different susceptibility to thermal stresses. Obtained thermograms allowed deriving the parameters that were the most applicable for differentiation of low- and high temperature resistance of the genotypes.

Keywords: initial fluorescence, photosynthesis, thermal stresses, thermograms.