

WPŁYW WYSOKIEJ TEMPERATURY W OKRESIE WEGETACJI NA PLON ODMIAN ZIEMNIAKA O ZRÓŻNICOWANEJ REAKCJI NA STRES ŚRODOWISKOWY*

prof. dr hab. Krystyna Rykaczewska
IHAR-PIB, Zakład Agronomii Ziemniaka w Jadwisinie, 05-140 Serock
e-mail: k.rykaczewska@ihar.edu.pl

Stres roślin wywołany wysoką temperaturą w okresie wegetacji jest problemem rolnictwa w wielu regionach świata. Powoduje on w roślinach wiele morfo-anatomicznych, fizjologicznych i biochemicznych zmian, które mają wpływ na ich wzrost i rozwój. Mogą prowadzić do drastycznego spadku plonu i jego jakości. Negatywny wpływ wysokiej temperatury może być złagodzony przez wprowadzenie do uprawy, przy użyciu różnych metod genetycznych, roślin z ulepszoną termoregulacją. Z tego powodu gruntowne zrozumienie fizjologicznej reakcji roślin na wysoką temperaturę jest obecnie nakazem (Wahid i in. 2007).

Ziemniak, typowa roślina klimatu umiarkowanego, najlepiej rośnie i rozwija się w temperaturze ok. 20°C. Inne są jednak war-

tości graniczne dla rozwoju części nadziemnej, a inne dla bulw. Z doświadczeń prowadzonych w fitotronach wiadomo, że część nadziemna najlepiej rozwija się w temperaturze 20-25°C, a temperatura optymalna dla tuberyzacji i wzrostu bulw wynosi 15-20°C (Marinus, Bodlaender 1975; Struik i in. 1989ab; Rykaczewska 1993). W temperaturze wyższej od optymalnej dochodzi do zahamowania tuberyzacji i intensywnego wzrostu części nadziemnej. W warunkach naturalnych wysoka temperatura występuje najczęściej równocześnie z suszą glebową. Jednak coraz częściej plantacje ziemniaków są nawadniane i dlatego w badaniach oddziela się wpływ stresu wywołanego wysoką temperaturą od stresu na skutek suszy (Rykaczewska 2004abc, Mittler 2006).

* Przy cytowaniu tej pracy należy powołać się na artykuł źródłowy zamieszczony w Am. J. Plant Sci (poz. literatury nr 12)

Metoda badań

Doświadczenie wazonowe przeprowadzono w otwartej przestrzeni hali wegetacyjnej i w komorach wegetacyjnych z udziałem odmian ziemniaka: Irys (bardzo wczesna), Cyprian (wczesna), Adam, Irga, Zebra (średnio wczesne) oraz Katahdin (średnio wczesna) o wysokiej tolerancji na stres środowiskowy (EPCD 2008). Temperaturą dnia/nocy 32/25°C oddziaływano na rośliny w trzech terminach: 16-30 czerwca (I), 1-15 lipca (II) i 16-30 lipca (III), w różnych fazach rozwojowych roślin (tab. 1). W okresach tych połowa roślin była systematycznie podlewana, a druga połowa pozostawała bez podlewania. Kombinację kontrolną stanowiły rośliny rosnące przez cały okres wegetacji w warunkach

zbliżonych do optymalnych. Warunki meteorologiczne, monitorowane przy użyciu Stacji Campbella, były w latach badań (2008-2009) zbliżone i korzystne dla rozwoju ziemniaka.

Tabela 1
Fazy fenologiczne roślin ziemniaka tuż przed rozpoczęciem oddziaływania wysokiej temperatury

Odmiana	Okres oddziaływania wysokiej temperatury		
	I (16-30.06.) kwitnienie	II (1-15.07.) owoce	III (16-30.07.) dojrzewanie
Irys	koniec	rozwój	początek
Cyprian	pełnia	rozwój	początek
Adam	brak	brak	początek
Irga	brak	brak	początek
Zebra	pełnia	rozwój	początek
Katahdin	pełnia	rozwój	początek

W latach poprzedzających doświadczenie rośliny *in vitro* badanych odmian były rozmnażane w hali wegetacyjnej w celu uzyskania materiału nasennego o wysokiej zdrowotności. Wyprodukowane w ten sposób minibułwy przechowywano w przechowalni w temperaturze optymalnej dla sadzeniaków (ok. 3°C). Wiosną bułwy o poprzecznej średnicy 3-4 cm podkiełkowały przez 5 tygodni, a następnie, 23-24 kwietnia, wysadzano je do 10-litrowych wazonów wypełnionych uniwersalnym substratem glebowym do uprawy warzyw. Wazonów umieszczano w hali wegetacyjnej (fot. 1).



Fot. 1. Wazony z roślinami badanych odmian ziemniaka w hali wegetacyjnej w końcu maja
(fot. K. Rykaczewska)

W ciągu całego okresu wegetacji rośliny były starannie pielęgnowane i podlewane do poziomu zbliżonego do optimum. Tuż przed rozpoczęciem oddziaływania wysokiej temperatury, po 6 roślin każdej odmiany przenoszono na 15 dni do komory wegetacyjnej,

gdzie fotoperiod wynosił 15 godzin, a temperatura była utrzymywana na ustalonym poziomie 32°C w ciągu dnia i 25°C w nocy. Po zakończeniu każdego okresu oddziaływania wysokiej temperatury rośliny przewożono do hali wegetacyjnej, gdzie dalszy ich rozwój

przebiegał w warunkach zbliżonych do optymalnych.

Plon końcowy określano po osiągnięciu pełnej dojrzałości roślin w kombinacji kontrolnej, między 10 a 20 września. Miarą tolerancji badanych odmian na wysoką temperaturę w okresie wegetacji był stopień spadku plonu oraz liczby i wielkości bulw w stosunku do kombinacji kontrolnej, a także defekty fizjologiczne bulw, co wyrażano w procentach masy w stosunku do plonu ogólnego. Wyniki doświadczenia analizowano za pomocą ANOVA, używając programu statystycznego SAS Enterprise Guide 4.

Wyniki i dyskusja

Działanie wysokiej temperatury na rośliny rosnące w warunkach dobrej wilgotności gleby w I i II okresie spowodował **intensywny wzrost części nadziemnej** wszystkich badanych odmian (tab. 2). Wyniki te są zgodne z uzyskiwanymi przez innych autorów (np. Struik i in. 1989a, Gawrońska i in. 1992). W naszej pracy dodatkowo wykazano, że wzrost elongacyjny roślin pod wpływem wysokiej temperatury był tym większy, im wcześniej oddziaływała ona na rośliny.

Tabela 2

Wysokość roślin w stosunku do kontroli bezpośrednio po zakończeniu okresu oddziaływania wysokiej temperatury (%) – wartości średnie dla badanych odmian

Wilgotność gleby	Okres wysokiej temperatury			
	I	II	III	średnio
FSM*	151 a	124 a	98 a	124 a
SD**	104 b	103 b	98 a	102 b
Średnio	128	114	98	113

*FSM – korzystna dla roślin wilgotność gleby

**SD – susza glebowa

Odmienne litery przy wartościach oznaczają istotne zróżnicowanie liczby bulw na poziomie prawdopodobieństwa 0,05 w teście Tukeya

Wysoka temperatura miała również **negatywny wpływ na plon** (tab. 3). Największe spadki plonu stwierdzano, gdy oddziaływała ona na rośliny w drugiej połowie czerwca (okres I), średnio o 26%, ale były one jeszcze większe przy łącznym działaniu z suszą – 38,1%. W miarę oddalania się w czasie działania wysokiej temperatury (II i III okres) zmniejszał się negatywny wpływ stresowych czynników, jednak różnica między kombinacją FSM i SD utrzymywała

się nadal. Wszystkie badane odmiany wykazywały ten sam kierunek reakcji na te czynniki. Do najbardziej tolerancyjnych na wysoką temperaturę i suszę, ze względu na spadek plonu, zaliczono odmiany: Cyprian, Zebra i Katahdin.

W badaniach Levy'ego (1986ab) wysoka temperatura w okresie wegetacji powodowała spadek plonu dochodzący do 96%, ale doświadczenia były prowadzone w naturalnych warunkach klimatu półpustynnego, a porównanie obejmowało dwa cykle wegetacji: wiosenny i letni. Ponadto w badaniach tych zastosowano sadzeniaki w różnym wieku fizjologicznym.

Tabela 3

Plon końcowy w stosunku do kontroli w zależności od odmiany, okresu wysokiej temperatury i wilgotności gleby (%)

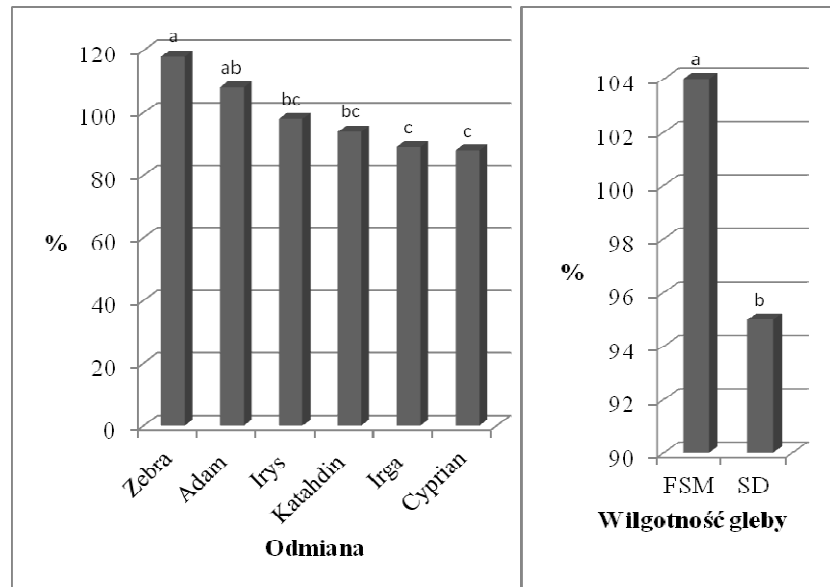
Odmiana	Okres wysokiej temperatury						Średnio
	I		II		III		
	FSM	SD	FSM	SD	FSM	SD	
Irys	83,7	48,7	94,8	83,6	106,7	99,3	86,10 ab
Cyprian	84,4	75,2	99,6	85,7	104,5	89,2	89,77 a
Adam	86,4	52,7	91,9	74,4	99,1	89,8	82,38 b
Irga	84,3	47,1	90,2	70,7	97,9	88,7	81,32 b
Zebra	90,9	43,1	97,1	80,9	103,2	91,2	89,40 a
Katahdin	87,0	74,3	92,7	84,6	103,5	88,3	88,40 a
Średnio	86,2 a	61,9 b	95,9 a	80,0 b	102,5 a	91,1 a	86,3
	74,05 c		87,95 b		96,80 c		
	FSM – 94,8 a, SD – 77,7 b						

Objaśnienia – patrz tabela 2

Liczba bulw w plonie końcowym była zależna od odmiany i wilgotności gleby w okresie działania wysokiej temperatury (rys. 1). Przy korzystnej dla roślin wilgotności gleby zwiększała się. Najwyższy przyrost stwierdzono u odmian Zebra i Adam. Wskazuje to na ich intensywną wtórną tuberyzację. Podobne zjawisko obserwował Levy (1985), prowadząc badania z dwiema odmianami: Desirée i Cara, ale stopień reakcji obu odmian był różny. Wtórą tuberyzację pod wpływem wysokiej temperatury w warunkach korzystnej dla roślin wilgotności gleby wykazała również Rykaczewska (2004a).

Wielkość bulw w plonie końcowym w stosunku do kombinacji kontrolnej była wysoce istotnie zależna od wszystkich badanych czynników,

czyli od odmiany, okresu oddziaływania wysokiej temperatury i wilgotności gleby (rys. 2). Badane czynniki stresowe powodowały zdrobnienie bulw. Zjawisko to jest dobrze znane producentom ziemniaków, ale w niniejszej pracy określono ścisłą zależność między terminem występowania wysokiej temperatury i suszą a wielkością bulw.

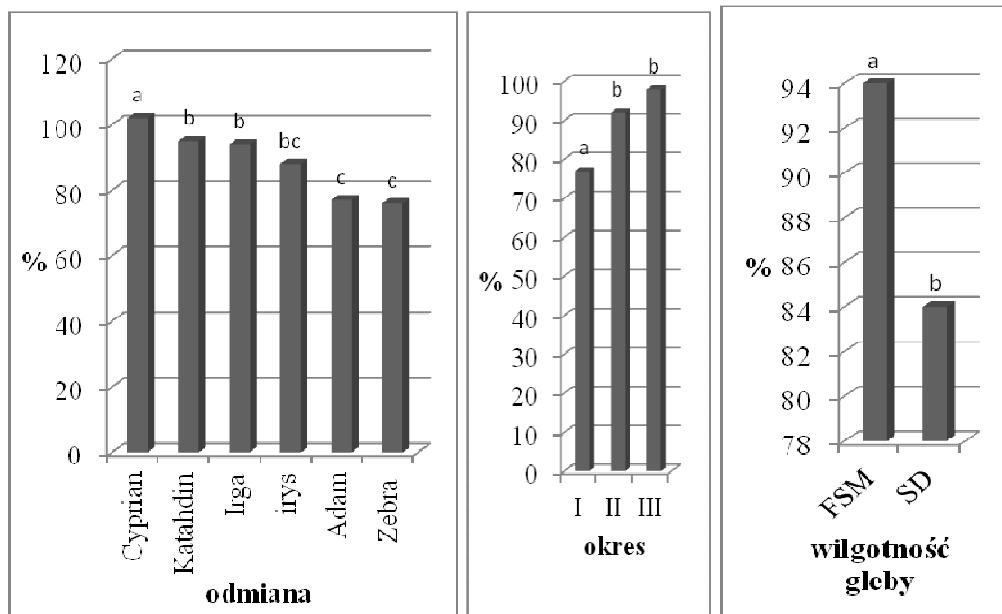


Rys. 1. Liczba bulw w plonie końcowym (%) w stosunku do kontroli w zależności od odmiany i wilgotności gleby w okresie oddziaływania wysokiej temperatury

FSM – korzystne dla roślin warunki wilgotnościowe gleby;

SD – susza glebowa

Odmienne litery przy wartościach oznaczają istotne zróżnicowanie liczby bulw na poziomie prawdopodobieństwa 0,05 w teście Tukeya



Rys. 2. Wielkość bulw w stosunku do kontroli zależnie od odmiany, okresu oddziaływania wysokiej temperatury i wilgotności gleby; Objasnienia – patrz rysunek 1

Defekty fizjologiczne bulw powstałe w wyniku działania wysokiej temperatury w okresie wegetacji to przede wszystkim deformacje kształtu wynikające z wtórnych przyrostów na tej samej bulwie, potocznie zwane dzieciuchowatością. Ich obecność w plonie końcowym w zależności od badanych czynników przedstawiono w tabeli 4 i na rysunku 3.

Irga, Irys i Cyprian charakteryzowały się największym procentowym udziałem zdeformowanych bulw w plonie końcowym (tab. 4), ale sposób ich deformacji był nieco odmienny (fot. 2).

W plonie odmian Zebra, Katahdin i Adam udział bulw zdeformowanych był najmniejszy. Wykazano, że wysoka temperatura oddziałująca na rośliny w drugiej połowie czerwca i pierwszej połowie lipca w warunkach utrzymującej się korzystnej wilgotności gleby sprzyjała deformacji bulw (rys. 3).

Tabela 4

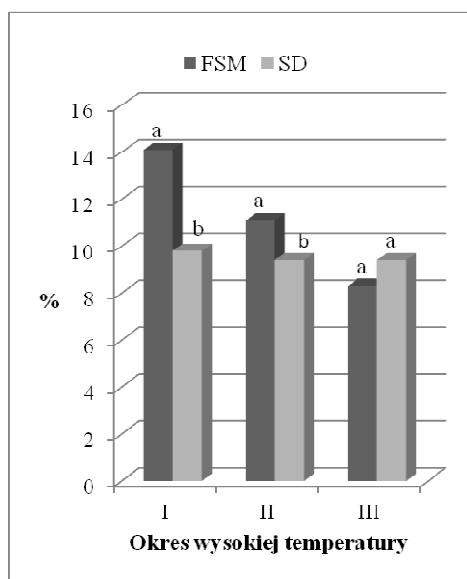
Procentowy udział bulw z defektami fizjologicznymi w plonie końcowym w zależności od odmiany i okresu wysokiej temperatury

Odmiana	Okres wysokiej temperatury			
	I	II	III	średnio
Irys	13,0 ab	16,3 a	13,9 ab	14,4 a
Cyprian	11,2 b	9,9 bc	9,5 b	10,2 b
Adam	13,1 ab	5,0 c	7,8 bc	8,6 bc
Irga	17,7 a	13,0 b	15,9 a	15,5 a
Zebra	6,9 c	6,2 c	2,5 c	5,2 c
Katahdin	10,0 b	11,4 bc	3,7 c	8,3 bc
Średnio	12,0 a	10,3 ab	8,9 b	10,4

Objaśnienia – patrz tabela 2



Fot. 2. Deformacje bulw ziemniaka w plonie końcowym spowodowane wysoką temperaturą w okresie wegetacji (fot. K. Rykaczewska)



Istotne korelacje między względną wysokością roślin a względnym plonem, względną wielkością bulw i procentowym udziałem w plonie bulw z defektami fizjologicznymi potwierdzają bardzo silny związek wysokiej temperatury w okresie wegetacji z plonowaniem ziemniaka (tab. 5).

Rys. 3. Procentowy udział bulw z defektami fizjologicznymi w plonie końcowym w zależności od okresu wysokiej temperatury i wilgotności gleby – wartości średnie dla odmian
Objaśnienia – patrz rysunek 1

Tabela 5

Korelacje między względną wysokością roślin a względnym plonem, względną liczbą bulw i wielkością bulw oraz procentowym udziałem w plonie końcowym bulw z defektami fizjologicznymi

Korelacja	FSM	SD
Względna wysokość roślin x względny plon	- 0,996**	- 0,875**
Względna wysokość roślin x względna liczba bulw	+ 0,011	+ 0,011
Względna wysokość roślin x względna wielkość bulw	- 0,899**	- 0,908**
Względna wysokość roślin x procent fizjologicznych defektów	- 0,999**	- 0,629*

Objaśnienia – patrz tabela 2

*P < 0,05, **P < 0,01

Szczegółowe wyniki prezentowanych w niniejszym artykule badań zostały zamieszczone w anglojęzycznym czasopiśmie *American Journal of Plant Science* (Rykaczewska 2013).

Konkluzja

Przeprowadzone badania potwierdziły pogląd, że wysoka temperatura w okresie wegetacji znacznie ogranicza produktywność ziemniaka. W niniejszej pracy wykazano jednak, że reakcja ziemniaka na ten czynnik stresowy jest zależna od stadium wegetacji roślin. Im wysoka temperatura wcześniej oddziaływała na rośliny, tym negatywny jej efekt był większy. Utrzymujący się przez 2 tygodnie łączny stres (z powodu wysokiej temperatury i suszy) w okresie kwitnienia może skutkować spadkiem plonu odmian wrażliwych o ok. 50%, a odmian bardziej tolerancyjnych o ok. 25%. Może być również przyczyną fizjologicznych defektów bulw, których masa może przekraczać 10% plonu ogólnego. Wykazano ponadto, że pozornie najłagodniejszy stres dla rośliny, utrzymujący się przez 2 tygodnie, w warunkach korzystnej dla roślin wilgotności gleby może powodować wzrost części nadziemnej o ponad 50% i niewielki, kilkuprocentowy spadek plonu. Jednak w plonie takim stwierdza się obecność bulw chronologicznie i fizjologicznie młodszych, powstałych w wyniku wtórnej tuberyzacji. W czasie zbioru i transportu mogą one łatwo ulegać uszkodzeniom.

Inną istotną wadą plonu wytworzonego w warunkach wysokiej temperatury i korzystnej dla roślin wilgotności gleby są liczne defekty fizjologiczne, które mogą stanowić od kilku do kilkunastu procent plonu zależnie od odmiany. Potwierdzono tolerancję odmiany

Katahdin na stres termiczny. Charakteryzowała się ona stosunkowo małym spadkiem plonu wytworzonego w warunkach wysokiej temperatury, brakiem wtórnej tuberyzacji i relatywnie niewielkim udziałem bulw zdeformowanych w ogólnym plonie końcowym. Wykazano też, że wielkość plonu bulw nie może być jedynym kryterium oceny tolerancji odmian ziemniaka na stres termiczny i suszę.

Składam podziękowanie pani Agnieszce Gajos za pomoc techniczną przy wykonywaniu doświadczeń.

Literatura

- European Potato Cultivars Database. 2008.** [http://www. Europotato.org](http://www.Europotato.org);
- Gawrońska H., Dwelle R. B., Thornton M. K. 1992.** Influence of heat stress on dry matter production and photoassimilate partitioning by four potato clones. – *Am. Potato J.* 69, 10: 653-665;
- Levy D. 1985.** The response of potatoes to a single transient heat or drought stress imposed at different stages of tuber growth. – *Potato Res.* 28, 4: 415-424;
- Levy D. 1986a.** Genotype variation in the response of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) to high ambient temperatures and water deficit. – *Field Crop Res.* 15, 1: 85-96;
- Levy D. 1986b.** Tuber yield and tuber quality of several potato cultivars as affected by seasonal high temperature and by water deficit in a semi-arid environment. – *Potato Res.* 29, 1: 95-107;
- Marinus J. Bodlaender K. B. A. 1975.** Response of some potato varieties to temperature. – *Potato Res.* 18, 2: 189-204;
- Mittler R. 2006.** Abiotic stress, the field environment and stress combination. – *Trends Plant Sci.* 11, 1: 15-19;
- Rykaczewska K. 1993.** Wpływ temperatury okresu wegetacji i wieku fizjologicznego minibulw na rozwój i plonowanie roślin potomnych. – *Biul. Inst. Ziemn.* 42: 39-46;
- Rykaczew-**

- ska K. 2004a.** Wpływ wysokiej temperatury w okresie wegetacji na plon ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.), okres spoczynku bulw i wartość plonotwórczą sadze- niaków. I. Rozwój roślin i plon. – Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 496: 185-198; **10. Rykaczewska K. 2004b.** Wpływ wysokiej temperatury w okresie wegetacji na plon ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.), okres spo- czynku bulw i wartość plonotwórczą sadzeniaków. II. Okres spoczynku bulw. – Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 496: 199-206; **11. Rykaczewska K. 2004c.** Wpływ wysokiej temperatury w okresie wegetacji na plon ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.), okres spoczynku bulw i wartość plonotwórczą sadzeniaków. III. Wartość plonotwórcza sadzeniaków. – Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 496: 207-216; **12. Rykaczewska K. 2013.** The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environ- mental stresses. – Am. J. Plant Sci. 4, 12: 2386-2393; **13. Struik P., Geertsema P. C. J., Custers C. H. M. G. 1989a.** Effect of shoot, root and stolon temperature on the development of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant. I. Development of the haulm. – Potato Res. 32, 2: 133-141; **14. Struik P. C., Geertsema P. C. J., Custers C. H. M. G. 1989b.** Effect of shoot, root and stolon temperature on the development of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant. III. Development of tubers. – Potato Res. 32, 2: 151-158; **15. Van Dam J., Kooman P. L., Struik P. C. 1996.** Effects of tempera- ture and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). – Potato Res. 39, 1: 51-62; **16. Wahid A., Gelani S., Ashraf M., Foolad M. R. 2007.** Heat tolerance in plants: an over- view. – Environ. Exp. Bot. 61, 3: 199-223