

REAKCJA ROŚLIN ZIEMNIAKA NAPROMIENIOWANYCH MIKROFALAMI NA SYMULOWANY STRES SUSZY

Tomasz Jakubowski

*Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki trzyletniego doświadczenia dotyczącego reakcji roślin ziemniaka bardzo wczesnej odmiany Felka Bona, których sadzeniaki napromieniowano mikrofalami, na symulowany stres wodny w warunkach tunelu foliowego. Wyniki badań wskazują, że promieniowanie mikrofalowe istotnie modyfikuje strukturę plonu roślin ziemniaka w warunkach stresu suszy.

Słowa kluczowe: ziemniak, stres wodny, promieniowanie mikrofalowe, plonowanie

Wstęp

Susza w pojęciu rolniczym, oznacza taki układ warunków środowiskowych, które doprowadzają do deficytu wody w roślinach. Brak, dostępnej w odpowiednich ilościach dla roślin, wody w glebie hamuje ich prawidłowy rozwój czego następstwem jest obniżone plonowanie. Odporność na suszę jest cechą dziedziczną podlegającą znacznym modyfikacjom podczas rozwoju rośliny. Wyróżnia się dwa zasadnicze typy odporności na suszę: unikanie stresu i tolerancja na stres. Pierwsza polega na zapobieganiu deficytowi wody wskutek ograniczenia jej strat lub sprawniejszego pobierania i transportu w roślinie. Druga wiąże się z fizjologicznym i biochemicznym znoszeniem przez komórki i jej tkanki deficytu wodnego bez istotnych, ujemnych następstw dla roślin. Metody testowania odporności na suszę polegają głównie na porównywaniu wzrostu, rozwoju i plonowania roślin w warunkach stresu wodnego i optymalnego uwodnienia oraz ocenie cech i właściwości roślin wyraźnie skorelowanych lub funkcjonalnie związanych z odpornością (wielkość systemu korzeniowego czy intensywność transpiracji liści) [Bandurska 1991; Kocon i in. 2004; Kamińska-Rożek in. 2004; Starck i in. 1995; Starck 2002; Woźny i in. 2005].

Brak wody w organizmie żywym powoduje wiele zmian fizjologicznych. W roślinach zmienia się potencjał wody w liściach, stężenie fitohormonów i ekspresja genów oraz skład plazmalemy. Główną jednak zmianą powodowaną suszą jest zmiana potencjału wody w roślinie. Wiele roślin przystosowuje się do stresu wodnego poprzez osmoregulację polegającą na akumulacji substancji osmotycznie czynnych prowadzącej do odzyskania turgoru i zdolności do wzrostu komórki mimo niskiego potencjału wody [Olszewski i in. 2009; Pino i in. 2007; Steponkus 2005; Ozturk i in. 2004; Thomashow 2002].

Uzasadnienie badań i cel pracy

W dostępnej literaturze odczuwa się niedosyt informacji dotyczących reakcji roślin napromieniowanych mikrofalami na stresy środowiskowe (w tym również na stres wodny). W roku 2003, w Katedrze Techniki Rolno-Spożywczej Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, przeprowadzono badania wstępne dotyczące wpływu stresu wodnego na plonowania roślin ziemniaka odmiany Felka Bona, których sadzeniaki napromieniowano mikrofalami. W doświadczeniu rośliny poddawano niedoborom wody poprzez ograniczenie dawki nawadniającej w trakcie całego okresu wegetacji oraz poprzez zaprzestanie nawadniania po zadanym okresie. Analiza uzyskanych wyników badań wskazała różnice w zakresie badanych parametrów jedynie w zakresie części doświadczenia, w którym zaprzestawano nawadniania po zadanym okresie czasu. Rośliny, których sadzeniaki napromieniowano mikrofalami wykazywały większą tolerancję na warunki stresu wodnego - mierzone wartościami masy i liczby plonu – w porównaniu z partią kontrolną. Zaistniało zatem prawdopodobieństwo, że krótkotrwałe napromieniowanie sadzeniaków ziemniaka mikrofalami wpłynie pozytywnie na niektóre procesy fizjologiczne (m.in. gospodarkę wodną) rośliny potomnej. Mając na uwadze powyższe, celem pracy było zbadanie reakcji roślin ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) bardzo wczesnej odmiany Felka Bona, których sadzeniaki napromieniowano mikrofalami, na symulowany stres wodny w warunkach tunelu foliowego.

Zakres pracy i metodyka

W doświadczeniu wazonowym, prowadzonym w latach 2004-2006 pod osłoną tunelu foliowego, wykorzystano bardzo wczesną odmianę ziemniaka Felka Bona. Badania prowadzono na 36 roślinach wg następującego schematu:

- próba kontrolna; 12 roślin nawadnianych dawką 250 mm przez okres 75 dni,
- próba poddana stresowi suszy; 12 roślin nawadnianych dawką 150 mm przez okres 45 dni,
- próba napromieniowana mikrofalami i poddana stresowi suszy; 12 roślin nawadnianych dawką 150 mm przez okres 45 dni,

Dawkę nawadniającą dla próby kontrolnej ustalono według informacji podawanych przez Roztropowicz i in. [1977] gdzie wymagana wysokość opadów dla ziemniaków wczesnych w miesiącach kwiecień – maj powinna wynosić około 200 mm. Metodyka integrowanej produkcji ziemniaków [2005] zaleca podobną dawkę opadów w tych miesiącach (194 mm) a zdaniem Łuszczyka [2004], w okresach bezdeszczowych i przy największym zapotrzebowaniu roślin na wodę, średnie niedobory wody powinny być pokryte w wysokości $3 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dobę}^{-1}$.

Ze względu na wyższe temperatury powietrza w tunelu foliowym w doświadczeniu przyjęto wielkość dawki nawadniającej 250 mm, którą aplikowano przy pomocy szklanego naczynia cechowanego bezpośrednio do wazonu. Rośliny nawadniano dawkami 2 dm^3 (wazon o objętości $0,1 \text{ m}^3$ i przekroju poprzecznym $0,2 \text{ m}^2$) wody przez okres 75 dni w odstępach 3 dniowych do każdej donicy. W celu wywołania efektu suszy, nawadnianie przerywano po 45 dniach (za wyjątkiem próby kontrolnej).

Sadzeniaki do badań dobrano celowo kierując się wizualną zdrowotnością materiału biologicznego oraz ich podobną masą. Masa sadzeniaków oscylowała wokół wartości 40 g przy wartości średniej 40,1 g i odchyleniu standardowym 1,6 g. Dobór sadzeniaków

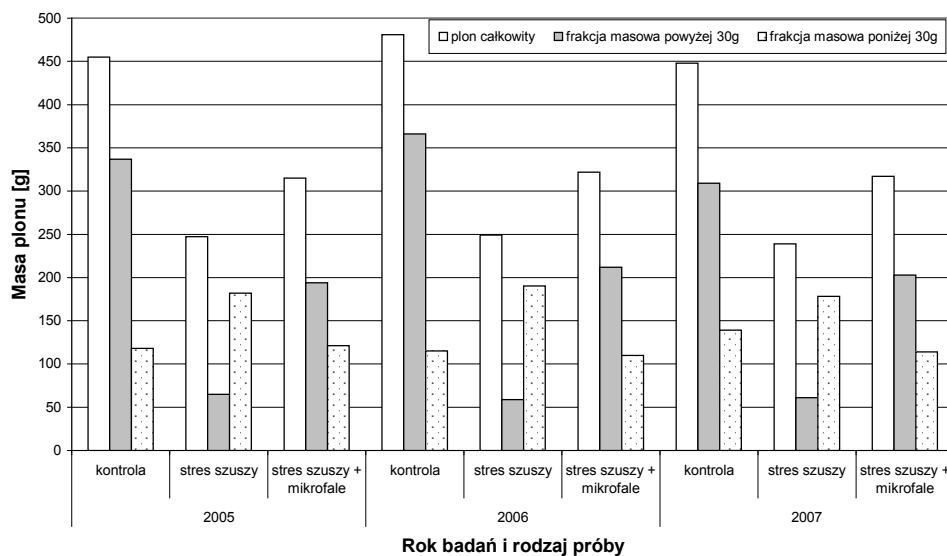
o podobnej masie pozwolił na niewielkie zróżnicowanie w zakresie wielkości jednostkowych dawek promieniowania mikrofalowego oraz zachowanie jednorodności sadzonego materiału. Sadzeniaki napromieniowano mikrofalami o częstotliwości 2,45 GHz, mocy 100 W i czasie ekspozycji 10 s co odpowiadało 23,8-26 J·g⁻¹ dawek jednostkowych promieniowania. Wielkość dawki promieniowania mikrofalowego ustalono wg badań autora [Jakubowski 2007, 2008] na poziomie zapewniającym roślinom optymalny przebieg procesów ontogenezy.

W badaniach wykorzystano urządzenie generujące mikrofałe wyposażone w precyzyjny wyłącznik czasowy. Dawkę jednostkową promieniowania mikrofalowego [J·g⁻¹] obliczono jako iloraz dawki całkowitej [J] promieniowania (iloczyn mocy urządzenia [W] i czasu ekspozycji [s]) i masy sadzeniaka [g].

W trzeciej dekadzie marca, w wazonny wypełnione glebą z dodatkiem około 30% humusu, na głębokości 5 cm, posadzono bulwy ziemniaka. Przeprowadzona przez Stację Chemiczno Rolniczą analiza użytego podłoża glebowego wykazała wysokie zawartości przyswajalnych form makroelementów glebowych: magnezu i potasu, średnie fosforu oraz pH gleby 6,7. W trakcie okresu wegetacji notowano daty wschodów, kwitnienia oraz zasychania łodyg. Zabiegi pielęgnacyjne i ochronne ograniczono do obsypywania roślin, ręcznego pielienia oraz wykonania oprysku, preparatem *Actara* dawką 0,08 kg·ha⁻¹, w celu zabezpieczenia obiektu przed *Leptinotarsa decemlineata*. W roku 2006 wykonano dodatkowo oprysk (dawką 4 kg·ha⁻¹) *Miedzianem 50 WP* w celu zabezpieczenia obiektu przed chorobami grzybowymi. Zbiór plonu dokonano po 93 dniach wegetacji. Bezpośrednio po zbiorze bulwy oczyszczono i określono strukturę plonu każdej rośliny: masę plonu i liczbę bulw w plonie. Bulwy przyporządkowano do dwóch frakcji masowych: poniżej i powyżej 30 g. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem pakietu *STATISTICA 8.0*; normalność rozkładu w próbach określono stosując test W Shapiro-Wilka, jednorodność wariancji testem F Snedecora a istotność różnic (na poziomie $\alpha=0,05$) testowano testem T² Hotellinga będącego uogólnieniem tradycyjnego testu t Studenta na rozkłady wielowymiarowe. Test Hotellinga znajduje zastosowanie w przypadku badań kompleksowych, obejmujących jednocześnie wiele zmiennych, w teście tym mamy do czynienia z porównywaniem dwóch wektorów średnich [Hotelling i in 1936; Stanisz 2006].

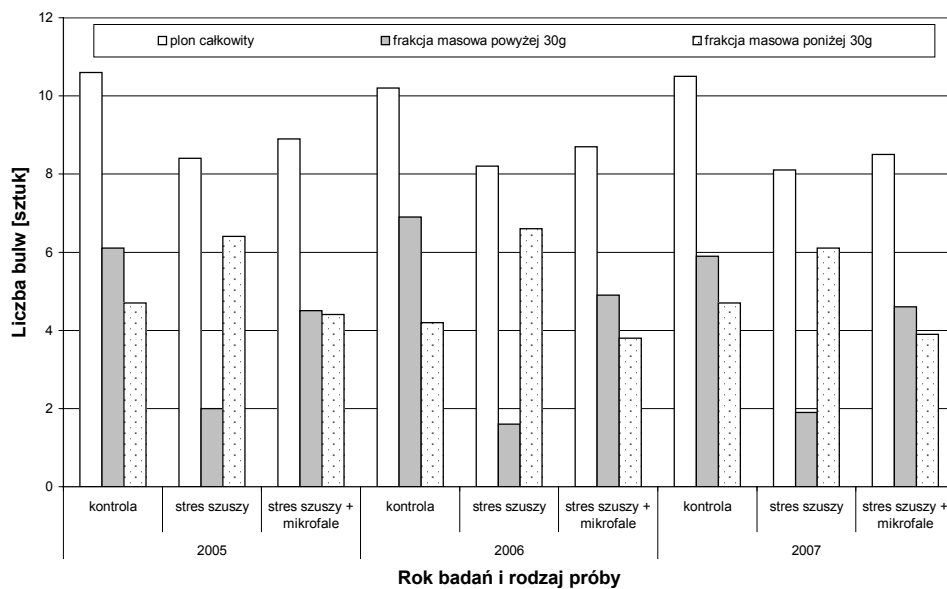
Wyniki badań

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono kształtowanie się plonu i jego struktury (średnia z 12 roślin z próby) w latach 2004-2006. Stwierdzono istotne różnice w strukturze plonu pomiędzy roślinami ziemniaka poddanymi stresowi suszy, poddanymi stresowi suszy których sadzeniaki napromieniowano mikrofalami oraz próbą kontrolną. Reakcją spodziewaną było zmniejszenie masy plonu roślin, które poddano działaniu suszy. Jednakże rośliny ziemniaka poddane działaniu symulowanego stresu wodnego, których sadzeniaki napromieniowano mikrofalami, odznaczały się wyższą masą plonu przynależnego do frakcji masowej powyżej 30 g a niższą masą plonu przynależnego do frakcji masowej poniżej 30 g w porównaniu z roślinami ziemniaka, których sadzeniaków nie napromieniowano mikrofalami. Liczebność bulw w plonie charakteryzowała się tą prawidłowością, że udział bulw frakcji poniżej 30 g wzrastał wśród roślin, które poddano działaniu symulowanego stresu wodnego a udział bulw frakcji powyżej 30 g wzrastał wśród roślin, które nawadniano prawidłowo (próba kontrolna).



Źródło: obliczenia własne autora

Rys. 1. Kształtowanie się plonu w okresie badawczym
Fig. 1. Crop amounts during research period



Źródło: obliczenia własne autora

Rys. 2. Liczba bulw w plonie w okresie badawczym
Fig. 2. Number of tubers in a crop during research period

Jednakże rośliny ziemniaka poddane działaniu symulowanego stresu wodnego, których sadzeniaki napromieniowano mikrofalami, odznaczały większą liczebnością bulw przynależnych do frakcji masowej powyżej 30 g a niższą liczebnością bulw przynależnych do frakcji masowej poniżej 30 g w porównaniu z roślinami ziemniaka, których sadzeniaków nie napromieniowano mikrofalami. Na podstawie zaprezentowanych wyników badań stwierdzić można, że stres wodny spowodował obniżenie plonowania roślin ziemniaka odmiany Felka Bona o około 30%. Rośliny ziemniaka poddane działaniu symulowanego stresu wodnego, których sadzeniaki napromieniowano mikrofalami odznaczały się masą plonu o około 19% wyższą w porównaniu z roślinami poddanymi działaniu symulowanego stresu wodnego, których sadzeniaków nie napromieniowano mikrofalami.

Wrażliwość roślin na suszę może być oceniana poprzez jej zdolność do prowadzenia osmoregulacji (pomiar potencjału osmotycznego) oraz efektywnego i optymalnego wykorzystania energii wzbudzenia (fluorescencja chlorofilu) przez aparat fotosyntetyczny w warunkach stresu wodnego lub poprzez funkcjonowanie mechanizmów ochronnych, w które między innymi mogą być zaangażowane związki fenolowe, a szczególnie kwas ferulowy, jako jeden z najbardziej efektywnych fotoprotektorów, którego poziom może być dobrym wskaźnikiem odporności roślin na suszę [Lu i in. 1998, Sawicka i in. 2003, Michałek i in. 2005]. Blake [2003] badając reakcję sadzonek iglastych (*Picea mariana* B.S.P i *Pinus banksiana* Lamb.) na stres wodny oddziaływał na nie między innymi poprzez ich napromieniowanie światłem ultrafioletowym (UV-B), uzyskując pewien rodzaj odporności na niszczące skutki stresu. Promieniowanie ultrafioletowe, na poziomie od niskiego do naturalnego, wzmagало wytwarzanie związku *phenylalanine ammonia lyase* (PAL), a wynikający stąd wzrost syntezy flawonoidów wzmagал wytrzymałość i wigor sadzonek. Możliwym jest, że napromieniowanie sadzeniaków ziemniaka mikrofalami modyfikuje procesy osmotyczne i fotosyntezy roślin potomnych oraz stymuluje ich mechanizmy ochronne.

Wnioski

1. Stres wodny istotnie obniżał plonowanie roślin ziemniaka.
2. Promieniowanie mikrofalowe istotnie modyfikowało strukturę plonu roślin ziemniaka.
3. Stwierdzono pozytywny wpływ promieniowania mikrofalowego na plonowanie roślin ziemniaka w warunkach suszy.

Bibliografia

- Bandurska H.** 1991. Free proline accumulation as a metabolic response of plants to the action of water stress. *Wiadomości Botaniczne*. s. 35-46.
- Blake T.** 2003. Hydrauliczne ograniczenia wzrostu i aklimatyzacji sadzonek iglastych. *Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 2(2). s. 19-29.
- Hotelling H., Pabst M.** 1936. Rank correlation and tests of significance involving no assumption of normality. *Annals of Mathematical Statistics*. No. 7. s. 29-43.
- Kocon A. Podleśna A.** 2004. Wstępna ocena efektywności fotosyntetycznej wybranych odmian pszenicy ozimej w warunkach stresu wodnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 496, s. 25-31

- Jakubowski T.** 2007. Wpływ mikrofalowej stymulacji sadzeniaków ziemniaka na wzrost i rozwój roślin potomnych. *Inżynieria Rolnicza*.6(94). Kraków. s. 49-56.
- Jakubowski T.** 2008. Wpływ promieniowania mikrofalowego na dynamikę wzrostu kielków bulwy ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*.6(94). Kraków. s. 81-86.
- Kamińska-Rożek E., Pukacki P.M.** 2004. Effect of water deficit on oxidative stress and degradation of cell membranes in needles of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Acta Physiol. Plantarum* 26. s. 431-442.
- Lu C.M., Zhang J.H.** 1998. Effects of water stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition in wheat plants. *Austr. J. Plant. Physiol.*, nr 25. s. 883-892.
- Łuszczak K.** 2004. Nakłady na nawadnianie plantacji ziemniaków. *Ziemniak Polski* nr 3. Bonin. s. 23-25.
- Metodyka integrowanej produkcji ziemniaków. 2005. Warszawa. s. 8-38.
- Michalek W., Sawicka B.** 2005. Zawartość chlorofilu i aktywność fotosyntetyczna średnio późnych odmian ziemniaka w warunkach pola uprawnego w środkowo-wschodniej Polsce. *Acta Agrophysica*, 6(1). s. 183-195.
- Olszewski J., Pszczółkowska A., Makowska M., Kulik T., Okorski A.** 2009. Effect of water deficit on gas exchange parameters, productivity and grain wholesomeness of spring wheat. *Polish Journal of Natural Science*, Vol. 24, Nr 2, s. 85-92.
- Ozturk A., Ayolin F.** 2004. Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. *J. Agron. Crop Sci.*, nr 190, s. 93–99.
- Pino MT, Skinner JS, Park EJ, Jeknić Z, Hayes PM, Thomashow MF, Chen THH.** 2007. Use of a stress inducible promoter to drive ectopic AtCBF expression improves potato freezing tolerance while minimizing negative effects on tuber yield. *Plant Biotech J.*
- Roztropowicz S., Kubicki K.** 1977. Ziemniaki wczesne. PWRiL. Warszawa. s. 20.
- Sawicka B., Michalek M.** 2003. Zmiany aktywności fotosyntetycznej i plonowaniu odmian ziemniaka w warunkach środkowo-wschodniej Polski. *Konf. Nauk. „Znaczenie odmiany w agrotechnice i przechowalnictwie ziemniaka”*. Jadwisin, 26-27 marca. s. 39.
- Stanisz A.** 2006. *Statystyki podstawowe*. Wydawnictwo STATSOFT. Kraków. s. 229.
- Starck Z., Choluj D., Niemyska B.** 1995. Fizjologiczne reakcje roślin na niekorzystne czynniki środowiska. Wydawnictwo SGGW. Warszawa. s. 28-41.
- Starck Z.** 2002. Mechanizmy integracji procesów fotosyntezy i dystrybucji biomasy w niekorzystnych warunkach środowiska. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 481, s. 111-123.
- Steponkus P.L.** 2005. A Prefatory Note on Responses of Plants to Low Temperature-Stress. *Journal of Plant Research*. Springer Japa. pp. 223-224.
- Thomashow, M.F.** 2002. Engineering new phenotypes for abiotic stress tolerance by expression of transcription factors. In, "Criteria for Field Testing of Plant With Engineered Regulatory, Metabolic and Signaling Pathways," L.L. Wolfenbarger (ed.), *Information Systems for Biotechnology*, Blacksburg, VA. pp. 91-94.
- Woźny A., Przybył K.** 2005. *Komórki roślinne w warunkach stresu*. PWN. Warszawa s. 31.

REACTION OF POTATO PLANTS IRRADIATED WITH MICROWAVES TO SIMULATED DROUGHT STRESS

Abstract. The paper presents results of a three-year experiment on the reaction of potato plants belonging to a very early variety - *Felka Bona*, to simulated water stress in foil tunnel conditions. Seed potatoes of the plants were irradiated with microwaves. Research results indicate that microwave radiation substantially modifies the structure of potato plant crop in drought stress conditions.

Key words: potato, water stress, microwave radiation, cropping

Adres do korespondencji:

Tomasz Jakubowski; e-mail: tjakubowski@ar.krakow.pl
Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych
Uniwersytet Rolniczy
ul. Balicka 116 B
30-149 Kraków