

TOMASZ JAKUBOWSKIInstytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wpływ napromieniowania mikrofalami sadzeniaków ziemniaka na plonowanie roślin

The effect of microwave irradiation of seed tubers on potato plant yield

W latach 2007–2009 przeprowadzono doświadczenie poletkowe w którym badano wpływ mocy generatora (100–300 W) i czasu (5–30 s) napromieniowania mikrofalami (2,45 GHz) zastosowanych do stymulacji sadzeniaków na plonowanie roślin ziemniaka bardzo wczesnej odmiany Felka Bona. Przy przyjętych w doświadczeniu parametrach pracy generatora mikrofal stwierdzono istotny wpływ całkowitej dawki napromieniowania mikrofalami na masę plonu bulw ziemniaka spod jednej rośliny. Nie stwierdzono natomiast aby tożsame wartości dawek całkowitych (uzyskanych z różnych wartości mocy urządzenia generującego mikrofałę i czasu ekspozycji sadzeniaków) miały taki sam wpływ na plonowanie roślin ziemniaka.

Słowa kluczowe: mikrofała, plon, ziemniak

The influence of microwave stimulation of potato seed tubers on plant yield was studied in a field experiment carried out in the years 2007–2009. Various values of (2,45 GHz) generator power (100–300 W) and irradiation time (5–30 s) were applied on seed tubers of very early potato cultivar Felka Bona. A significant effect of total dose of the radiation on the yield was stated, however there was no equivalence of the same total doses applied at different levels of power and time factors.

Key words: microwaves, yield, potato

WSTĘP

Zagadnienia wpływu promieniowania mikrofalowego na materiał siewny zostały omówione w pracach Olchowik i wsp. (1997) oraz Wójcik i wsp. (2004) a w opracowaniach autorstwa Marksa i wsp. (2003) przedstawiono efekt napromieniowania mikrofalami roślin ziemniaka (*Solanum tuberosum*). Według badań wspomnianych Autorów promieniowanie to, w zależności od jego częstotliwości, mocy z jaką pracuje generator mikrofal i czasu naświetlania materiału daje różny efekt w postaci zmian w procesach kiełkowania, wegetacji czy plonowania roślin. W prezentowanych powyżej pracach, dotyczących wpływu promieniowania mikrofalowego o częstotliwości 2,45 GHz na rośliny ziemniaka, aby określić energię jaką pochłania bulwa w trakcie jej napromieniania mikrofalami posługiwano się między innymi parametrem będącym iloczynem mocy

urządzenia generującego mikrofałę i czasu ekspozycji materiału. Uzyskany w ten sposób parametr określano mianem dawki całkowitej i wyrażano w Joule'ach. Specyfika prac doświadczalnych dotycząca wpływu metod fizycznych na przebieg ontogenezy roślin wymaga prawidłowego doboru zmiennych niezależnych (w tym przypadku mocy urządzenia generującego mikrofałę i czasu ekspozycji materiału) a w dalszej kolejności obserwacji zmian zachodzących w ich procesach życiowych. W przypadku wspomnianych zmiennych niezależnych, prowadzący badania może natrafić na przypadek w którym z iloczynu kilku różnych wartości mocy i czasu otrzyma tą samą wartość dawki całkowitej. Czy w związku z powyższym, tożsame wartości dawek całkowitych, uzyskane z różnych wartości mocy urządzenia generującego mikrofałę i czasu ekspozycji materiału będą miały taki sam wpływ na procesy życiowe napromienionych roślin? Na podstawie tak sformułowanego problemu badawczego ustalono cel pracy.

Celem pracy było zbadanie wpływu mocy generatora mikrofał i czasu napromieniania sadzeniaków na plonowanie roślin ziemniaka bardzo wczesnej odmiany Felka Bona.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono w latach 2007–2009 z wykorzystaniem bardzo wczesnej odmiany ziemniaka Felka Bona. Doświadczenie usytuowano w rejonie Polski południowej na glebie lekkiej, piasek słabo gliniasty, klasa bonitacyjna IIIa. Czynniki doświadczalne (zmiennymi niezależnymi) były moc generatora mikrofał i czas napromieniania sadzeniaków. Zmienne niezależne dobrano tak, aby iloczyn odpowiednich wartości mocy generatora i czasów napromieniania utworzyły takie same co do wartości dawki całkowitej promieniowania mikrofałowego (tab. 1). Dodatkowo wprowadzono jednostkę doświadczalną (grupę kontrolną) nie poddaną działaniu promieniowania mikrofałowego. Frakcjonowane sadzeniaki ziemniaka o masie w przedziale 38–43 g (przy wartości średniej 41,3 g i odchyleniu standardowym 1,9 g) przydzielono losowo do poszczególnych poziomów czynnika doświadczalnego. W celu oceny i kontroli wariancji błędu losowego oraz zmienności osobniczej doświadczenie prowadzono w trzech replikacjach. Doświadczenie założono według układu bloków losowych. W każdej kombinacji doświadczalnej wykorzystano 90 sadzeniaków ziemniaka (30 sadzeniaków dla każdej replikacji). Sadzeniaki, będące w okresie rozbudzenia, przed posadzeniem napromieniano mikrofałami o częstotliwości 2,45 GHz zgodnie z metodą opisaną w pracy autora (Jakubowski, 2009). Wszelkie prace agrotechniczne prowadzone na polstkach doświadczalnych przeprowadzono zgodnie z zasadami prawidłowej uprawy rośliny ziemniaka. Jednostkowe dawki promieniowania mikrofałowego, uwzględniające masę sadzeniaków, zawierały się w przedziale 23,3–78,9 J·g⁻¹. Plon zebrano po 143 dniach w roku 2007, 135 w 2008 i 139 w roku 2009. Bezpośrednio po zbiorze, przy użyciu wagi platformowej o dokładności 2 g, określono masę całkowitą plonu bulw spod jednego krzaka. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem pakietu STATISTICA 8.0. na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Normalność rozkładu w próbach stwierdzono poprzez wynik testu Kołmogorowa-Smirnowa, a jednorodność wariancji testem Levena. Wpływ dawki promieniowania mikrofałowego na plonowanie roślin ziemniaka w poszczególnych latach

badan określano poprzez dwuczynnikową analizę wariancji. Różnice między statystycznie istotnymi średnimi badano z zastosowaniem testu wielokrotnych porównań Tukeya. Jest to test oparty na studentyzowanym rozstępie umożliwiającą grupowanie średnich i gwarantujący łączny poziom istotności dla wszystkich testowanych par. Obliczono poziom prawdopodobieństwa testowego dla badanych par średnich oraz oznaczono jednorodne grupy średnich.

Tabela 1

Zastosowane w doświadczeniu wartości mocy generatora i czasu napromieniania sadzeń mikrofalami

Used in the experiment values of the generator power and the tubers irradiation time

Dawka całkowita promieniowania mikrofalowego Total dose of microwave radiation	Poziom czynnika doświadczalnego Level of the experimental factor	Moc generatora mikrofal i czas napromieniania sadzeń Microwave power generator and time of exposure	
		moc — power	czas — time
1000 J	A1	200 W	5 s
	A2	100 W	10 s
1500 J	B1	300 W	5 s
	B2	100 W	15 s
2000 J	C1	200 W	10 s
	C2	100 W	20 s
3000 J	D1	300 W	10 s
	D2	100 W	30 s
Kontrola Control	K	—	—

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Przeprowadzona analiza wariancji (tab. 2) wykazała istotny wpływ dawki napromieniania mikrofalami na masę plonu bulw ziemniaka spod jednej rośliny.

Tabela 2

Wynik analizy wariancji (jednowymiarowe testy istotności), wpływ roku badań oraz zastosowanej dawki promieniowania mikrofalowego na plonowanie roślin ziemniaka
Result of variance analysis (one-dimensional tests of significance), the impact of years and the applied doses of microwave radiation on the potato plants yielding

Zmienne niezależne Independent variables	Suma kwadratów Sum of squares	Stopnie swobody Degrees of freedom	Średnia kwadratów Mean square	Wartość testu F F-test value	Poziom prawdopodobieństwa testowego Probability level F-test
Wyraz wolny Absolute term	1042,604	1	1042,604	100356,8	0,000
Rok Year (1)	0,025	2	0,013	1,2	0,298
Poziom Level (2)	32,161	8	4,020	387,0	0,000
1×2	0,494	16	0,031	3,0	0,001
Błąd — Error	24,965	2403	0,010		

Istotna była również interakcja roku w którym przeprowadzono badania oraz dawki napromieniowania mikrofalami. Dla statystycznie istotnego wpływu zmiennej niezależnej (dawki napromieniowania mikrofalami) na zmienną zależną (masę plonu bulw ziemniaka), poprzez porównania wielokrotne, określono wartości prawdopodobieństwa oraz grupy jednorodnych średnich (tab. 3 i 4).

Tabela 3

Przybliżone wartości prawdopodobieństwa dla porównań wielokrotnych między wartościami średniej masy plonu bulw ziemniaka w zależności od zastosowanej dawki promieniowania mikrofalowego
Approximate values of probabilities for multiple comparisons between the values of average yield mass of potato tubers, depending on the dose of microwave radiation

Nr No.	Poziom Level	Średnia masa plonu bulw ziemniaka Average mass of potato tubers yield (g)								
		{1} 707	{2} 792	{3} 708	{4} 769	{5} 519	{6} 704	{7} 496	{8} 478	{9} 722
1	A1		0	1,00	0	0	0,99	0	0	0,73
2	A2	0		0	0,23	0	0	0	0	0
3	B1	1,00	0		0	0	0,99	0	0	0,82
4	B2	0	0,23	0		0	0	0	0	0
5	C1	0	0	0	0		0	0,14	0	0
6	C2	0,99	0	0,99	0	0		0	0	0,49
7	D1	0	0	0	0	0,14	0		0,55	0
8	D2	0	0	0	0	0	0	0,55		0
9	K	0,73	0	0,82	0	0	0,49	0	0	

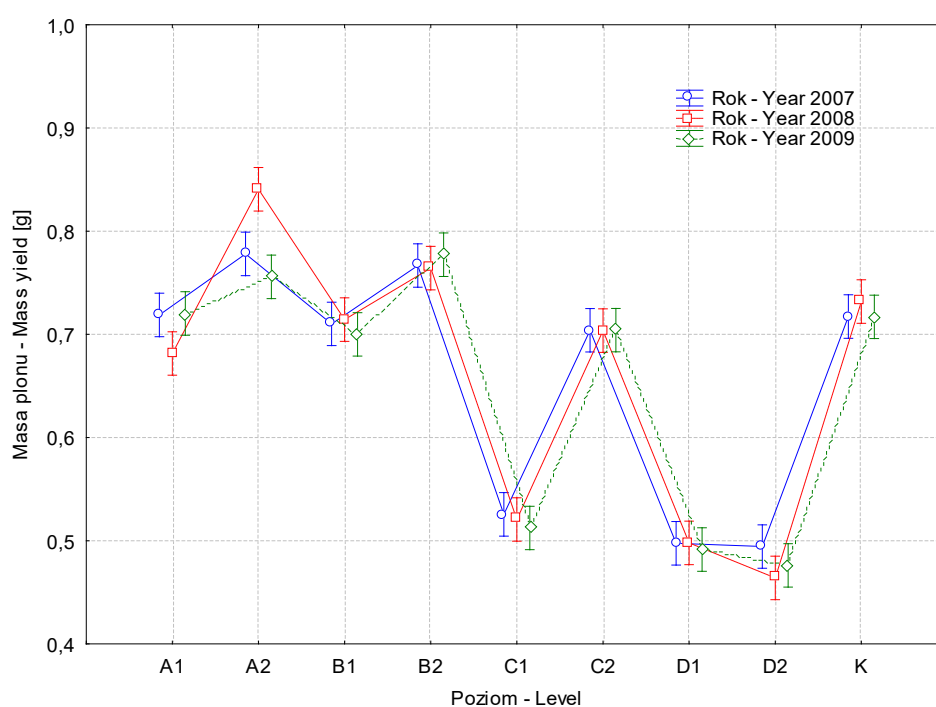
Tabela 4

Grupy jednorodne, wartości średniej masy plonu bulw ziemniaka w zależności od zastosowanej dawki promieniowania mikrofalowego
Homogeneous groups, and average yields of potato tubers, depending on the dose of microwave radiation

Nr No.	Poziom Level	Średnia masa plonu bulw ziemniaka Average mass of potato tubers yield (g)	Grupy jednorodne — Homogeneous groups			
			1	2	3	4
8	D2	478		****		
7	D1	496		****		
5	C1	519			****	
6	C2	704	****			
1	A1	707	****			
3	B1	708	****			
9	K	722	****			
4	B2	769				****
2	A2	792				****

Dane zawarte w tabelach 3 i 4 prezentują przybliżone wartości prawdopodobieństwa oraz cztery wyodrębnione grup jednorodne. W jednej grupie znalazły się rośliny wyrosłe z sadzeniaków napromieniowanych mikrofalami pochodzącymi z generatora działającego z mocą 100 W w czasie 20 s, 200 i 300 W w czasie 5 s, oraz próba kontrolna, w następnej grupie znalazły się rośliny wyrosłe z sadzeniaków napromieniowanych mikrofalami pochodzącymi z generatora działającego z mocą 100 i 300 W w czasie 30 i 10 s, w kolejnej grupie znalazły się rośliny wyrosłe z sadzeniaków napromieniowanych mikrofalami pochodzącymi z generatora działającego z mocą 200 i 300 W w czasie 10 s. Osobną grupę

homogeniczną utworzyły rośliny wyrosłe z sadzeniaków napromieniowanych mikrofalami pochodzącymi z generatora działającego z mocą 100 W w czasie 10 i 15 s. Spodziewanym efektem było, że w części doświadczenia, rośliny wyrosłe z sadzeniaków napromieniowanych mikrofalami, pochodzącymi z generatora działającego z mocą 100 W w czasie 10 i 15 s, utworzą osobną grupę jednorodną, gdyż podobne wyniki uzyskano w pracy autora (Jakubowski, 2010). Rośliny ziemniaka prób D1 i D2 (rośliny wyrosłe z sadzeniaków napromieniowanych mikrofalami pochodzącymi z generatora działającego z mocą 100 i 300 W w czasie 30 i 10 s, a więc dawkami 3000 J) utworzyły jedną grupę homogeniczną. Rośliny ziemniaka próby D1 zostały przyporządkowane równocześnie do innej, osobnej grupy jednorodnej. Na podstawie uzyskanych wyników badań nie można stwierdzić, że napromieniowanie sadzeniaków ziemniaka tożsamymi dawkami całkowitymi (uzyskanymi z różnych wartości mocy urządzenia generującego mikrofalę i czasu ekspozycji materiału) ma taki sam wpływ na masę plonu bulw spod jednej rośliny.



Rys. 1. Wpływ interakcji dawki promieniowania mikrofalowego i roku badań na średnią masę plonu bulw ziemniaka spod jednej rośliny

Fig. 1. Interaction effect of microwave radiation dose and year of study on average yield mass of potato tubers (per single plant)

Dalsza analiza danych zawartych w tabeli 4 pozwala na stwierdzenie, że promieniowanie mikrofalowe w dawkach całkowitych 1000–1500 J (lecz pochodzących wyłącznie z generatora działającego z mocą 100 W przez okres 10 lub 15 s) powoduje,

w porównaniu z próbą kontrolną, zwiększenie masy plonu rośliny ziemniaka. Efektu takiego nie stwierdzono w próbach napromieniowanych dawkami mikrofal w zakresie 1000–1500 J generowanych z urządzenia działającego z mocą 200 i 300 W w czasie 5 s. Dane liczbowe (zestawione w tabeli 4 oraz na rys. 1) pozwalają również na sformułowanie dodatkowego, ogólnego stwierdzenia, że wzrost całkowitej dawki promieniowania mikrofalowego powyżej 1500 J wpływa negatywnie na rośliny ziemniaka powodując obniżenie masy ich plonu.

W przypadku ekspozycji sadzeniaków ziemniaka na mikrofałe można mówić o termicznym i atermicznym działaniu promieniowania. Wnikające w głąb sadzeniaka mikrofałe wywołują oscylację jonów w elektrolitach oraz drobin w spolaryzowanych dielektrykach w następstwie czego (uwodniona) bulwa ziemniaka ulega ogrzaniu. Według Dewiatkova (1987) efekt termiczny ma miejsce wówczas, gdy w wyniku absorpcji energii promieniowania elektromagnetycznego następuje wzrost temperatury obiektu, większy niż 0,2°C. Skutki termiczne zależą także od stosunku rozmiarów napromienianego ciała do długości fali oraz ułożenia obiektu w stosunku do kierunku wektora pola elektrycznego. Jethon i wsp. (2000) twierdzi, że mikrofałe mogą wywoływać zmiany w układach adaptacyjnych organizmów przy czym działanie na te układy może obejmować zmiany bioelektryczne, metaboliczne i strukturalne na poziomie komórkowym i subkomórkowym. Można zatem przyjąć, że uzyskane w trakcie przeprowadzonego doświadczenia wyniki wskazują zarówno na pozytywne jak i negatywne oddziaływanie mikrofal na roślinę ziemniaka. Na tym etapie badań trudno jest jednoznacznie wskazać, które z przyjętych w doświadczeniu czynniki i w jakim stopniu oddziałują na plonowanie tej rośliny i dlatego nie odnotowano podobnego efektu działania tożsamyh dawek mikrofal. Z jednej strony założyć należy, że zbyt intensywne ogrzanie sadzeniaka może prowadzić do uszkodzenia błon komórkowych i denaturacji lub zwyrodnienia jego struktur białkowych. Będzie to miało w konsekwencji negatywny wpływ na dalszy rozwój (w tym i plonowania) rośliny (jak w przypadku sadzeniaków napromieniowanych dawkami mikrofal powyżej 1500 J). Z drugiej strony (jak w przypadku sadzeniaków napromieniowanych dawkami mikrofal poniżej 1500 J) jeśli efekt termiczny nie byłby dla rośliny stresogenny to mógłby pozytywnie, poprzez przyspieszenie przemian biochemicznych, wpływać na jej metabolizm i skutkować np. zwiększeniem plonowania. Zaznaczyć należy, że w przedstawionym doświadczeniu, w przypadku sadzeniaków ziemniaka napromieniowanych w czasie 10 i 15 s z urządzenia generującego mikrofałe o mocy 100 W, może występować również i efekt atermiczny. Za takim tłumaczeniem prezentowanego zjawiska przemawiają wyniki badań Belajewa i wsp. 1996, Grundlera 1992 oraz Dewiatkova i wsp. 1991 wskazujące, że promieniowanie mikrofalowe wpływa na przebieg wielu procesów życiowych również gdy natężenie pola jest znacznie niższe od dolnej granicy efektu cieplnego.

WNIOSKI

1. W przyjętych w doświadczeniu parametrach pracy generatora mikrofal nie stwierdzono, aby tożsame wartości dawek całkowitych (uzyskanych z różnych

- wartości mocy urządzenia generującego mikrofalę i czasu ekspozycji sadzeniaków) miały taki sam wpływ na plonowanie roślin ziemniaka.
2. Stwierdzono istotny wpływ całkowitej dawki napromieniowania mikrofalami na masę plonu bulw ziemniaka spod jednej rośliny.

LITERATURA

- Belajew I. Y., Shcheglov V. S., Alipov Y. D., Polunin V. A. 1996. Resonance effect of millimeter waves in the power range from 10^{-19} to 3×10^{-3} W·cm² on *Escherichia coli* cells at different concentrations. *Bioelectromagnetics* 17: 312 — 321.
- Dewiatkow N. D. 1987. Ispolzowanie niekogierentnych i kogierentnych elektromagnitnych kolebanij w medicynie i biologii. *Elektronnaja tehnika. Elektronika, SWCZ9*.
- Dewiatkow N. D., Golant M. B., Beckij O. W. 1991. Milimetrovyje wolny i ich rol w processach zyzniedejatelnosti. *Radio i Swiaz*. Moskwa.
- Grundller W. 1992. Intensity – and frequency – dependent effects of microwaves on cell growth rates. *Bioelektrochem. Bioenerg.* 27: 361 — 365.
- Jakubowski T. 2009. Efekt cieplny mikrofalowego ogrzewania bulwy ziemniaka. *Acta Agrophysica* 14 (2): 345 — 354
- Jakubowski T. 2010. Wpływ promieniowania mikrofalowego o różnych częstotliwościach na wybrane procesy życiowe roślin ziemniaka. *Materiały XVII Konferencji Naukowej nt. "Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie"*, Zakopane 2010: 19.
- Jethon Z., Grzybowski A. 2000. *Medycyna zapobiegawcza i środowiskowa*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL: 23 — 24.
- Marks N., Sobol Z., Baran D. 2003. Ocena mikrofalowej stymulacji bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza* Nr 11 (53): 131 — 137.
- Olchowik G., Dziamba S. 1997. The influence of microwave radiation on the buckwheat yields. 6th International Conference on Agrophysics, Sept. 15-18 Lublin, Book of abstracts, v. 2: 289 — 290.
- Wójcik S., Dziamba M., Pietruszewski S. 2004. Wpływ promieniowania mikrofalowego na plonowanie i jakość technologiczną korzeni buraka cukrowego. *Acta Agrophysica* vol. 3/3: 623 — 630.