

WPLYW TERMINU STYMULACJI MIKROFALAMI SADZENIAKÓW
NA WZROST I PLONOWANIE ROŚLIN ZIEMNIAKA
(*SOLANUM TUBEROSUM* L.)

Tomasz Jakubowski

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

Streszczenie. Praca prezentuje wyniki badań dotyczących wpływu terminu napromieniania mikrofalami sadzoniaków ziemniaka na wzrost i plonowanie roślin ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.). Badania prowadzono w ciągu trzech kolejnych lat (2007-2009) w rejonie Polski Południowej. Doświadczenie poletkowe ściśle założono metodą losowanych bloków w trzech replikacjach. Badano reakcję trzech bardzo wczesnych odmian ziemniaka (Felka Bona, Rosara i Velox) na promieniowanie mikrofalowe. Przyjęto jeden poziom napromieniania sadzoniaków ziemniaka mikrofalami (mikrofale pochodzące z generatora działającego z mocą 100 W przez czas 10 s). Zmiennymi niezależnymi były: rok badań, odmiana ziemniaka oraz termin w którym napromieniano sadzoniaki ziemniaka mikrofalami (przed przechowywaniem, po przechowywaniu oraz przed i po przechowywaniu). W trakcie okresu wegetacji prowadzono obserwacje wzrostu, rozwoju oraz plonowania roślin. Zmiennymi zależnymi były: liczba pędów głównych i ich długość oraz masa i liczebność bulw w plonie. Stwierdzono istotny wpływ terminu w którym napromieniano sadzoniaki ziemniaka mikrofalami na liczbę i długość łodyg oraz masę plonu bulw spod jednej rośliny.

Słowa kluczowe: mikrofałe, ziemniak, rozwój, plonowanie

WSTĘP

W Polsce, w latach 2007-2008, powierzchnia zasiewu ziemniaka wynosiła 570 tys. ha a roczny zbiór to około 11 milionów ton z czego blisko połowę stanowiły ziemniaki przeznaczone do bezpośredniego spożycia (Rocznik Statystyczny 2008). Wymogi rolnictwa ekologicznego oraz wysokie straty przechowalnicze zmuszają do poszukiwania innych niż stosowane dotychczas metod polepszających plonowanie roślin oraz ograniczających straty wynikłe z procesów przechodo-

wywania. Alternatywą dla stosowania środków chemicznych w produkcji roślinnej mogą być fizyczne metody stymulacji materiału biologicznego. Metody fizyczne w odniesieniu do roślin stosowali w swoich doświadczeniach między innymi Cogălniceanu i in. (2000) (pole elektryczne), Podleśny i in. (2003) (pole magnetyczne), Szajsner i Drozd (2007) (światło lasera), Ahloowalia (2001) (promieniowanie gamma), Olchowik i in. (2002) oraz Hamada (2007) (promieniowanie mikrofalowe). Zarówno w literaturze obcojęzycznej jak i rodzimej odczuwa się niedosyt informacji dotyczących wyników badań związanych z wpływem promieniowania mikrofalowego na rośliny ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.). W pracy Marksa i in. (2003) oceniano mikrofalową stymulację bulw ziemniaka. W doświadczeniu tym sadzeniaki ziemniaka napromieniowano mikrofalami, a następnie oceniano wschody roślin, ich plonowanie oraz badano podatność zebranych w plonie bulw na mechaniczne uszkodzenia. Doświadczenie to miało charakter badań wstępnych (pilotażowych) i prowadzone było w ciągu jednego okresu wegetacji i z użyciem jednej odmiany ziemniaka (Irga). W doświadczeniu tym wykorzystano generator mikrofal o częstotliwości 2,45 GHz działający z mocą 900 W. Wyniki badań wykazały, że jedynie bardzo niskie dawki ekspozycyjne powodują wzrost plonu roślin ziemniaka. Jednocześnie wraz ze wzrostem dawki ekspozycyjnej stwierdzono mniejsze plonowanie. Wyniki badań Marksa i in. (2003) zostały potwierdzone poprzez kolejne doświadczenia prowadzone z użyciem innych odmian ziemniaka: Felka Bona i Aster (Jakubowski 2007, 2008a). Badania związane z oddziaływaniem pól elektromagnetycznych na bulwy ziemniaka a w szczególności te związane z napromieniowaniem mikrofalami należą do badań trudnych. Istnieje kilka przyczyn potwierdzających powyższe. Pierwszą przyczyną jest brak dostatecznej wiedzy na temat reakcji rośliny ziemniaka na działanie pól elektromagnetycznych a co za tym idzie trudności z ustaleniem metod badań, formułowaniem hipotez roboczych oraz interpretacją otrzymanych wyników. Drugą przyczyną, mającą charakter fizjologiczny, jest fakt, że bulwa ziemniaka zawiera około 75% wody a więc jest materiałem biologicznym wysoko uwodnionym. Napromieniowanie bulwy ziemniaka mikrofalami powoduje, poprzez mechanizm polaryzacji dipolowej, przekazanie jej energii i zamianę tej energii na ciepło. Konsekwencją tego procesu jest wzrost temperatury bulwy i prawdopodobieństwo denaturacji struktur białkowych co może prowadzić do uszkodzenia bądź śmierci organizmu. W związku z powyższym niezwykle trudnym jest ustalenie odpowiednich dawek ekspozycyjnych. Trzecia przyczyna, mająca również charakter fizjologiczny, to niejednorodność masowa bulw ziemniaka, a to głównie masa bulwy decyduje o możliwości pochłaniania przez nią promieniowania mikrofalowego. W tym przypadku trudnym staje się ustalenie mocy urządzenia generującego mikrofałę i czasu napromieniowania. Przedstawione powyżej problemy sprawiają, że badania dotyczące wpływu promieniowania mi-

krofalowego na rośliny ziemniaka wymagają stosunkowo rozbudowanych doświadczeń agrotechnicznych z uwzględnieniem wielu kombinacji. Problematyczną kwestią są również rozbieżności w podejściu metodycznym badaczy co utrudnia porównywanie uzyskanych wyników (Pietrzyk 2006). Zdaniem autora, przedstawione powyżej argumenty, przemawiają za potrzebą prowadzenia badań związanych z wpływem pól elektromagnetycznych na materiał roślinny. Celem pracy było zbadanie wpływ terminu napromieniowania mikrofalami sadzeniaków ziemniaka na wzrost i plonowanie roślin potomnych.

FIZYCZNE PODSTAWY ODDZIAŁYWANIA PROMIENIOWANIA MIKROFALOWEGO NA OBIEKTY BIOLOGICZNE

Mikrofałe są częścią widma fal elektromagnetycznych, zajmującym położenie między radiowymi falami ultrakrótkimi a promieniowaniem podczerwonym. Fale elektromagnetyczne są nośnikiem energii, rozchodzą się w przestrzeni jako zaburzenia pola elektromagnetycznego, zawierają dwie składowe: elektryczną i magnetyczną. Przy czym oba te wektory są nierozdzielnie ze sobą związane. Relacje między tymi wektorami opisują równania Maxwell'a. Promieniowanie mikrofalowe podlega wszystkim zjawiskom fizycznym charakterystycznym dla ruchu falowego. Oddziałując z materią może ono ulec odbiciu, załamaniu, absorpcji, dyfrakcji, transmisji, interferencji czy polaryzacji. Promieniowanie mikrofalowe wykazuje również właściwości kwantowe – tym wyraźniejsze im krótsza jest długość fali. Wraz ze wzrostem częstotliwości promieniowania wartość względnej przenikalności dielektrycznej maleje a wzrasta przewodność właściwa. Wraz ze wzrostem tych wielkości występuje większa absorpcja w danym ośrodku i mniejsze przenikanie energii promieniowania mikrofalowego. Wielkością opisującą zjawisko pochłaniania fali elektromagnetycznej w ośrodku jest głębokość wnikania zdefiniowana jako droga po przebyciu, której natężenie fali maleje e -krotnie (2,72 razy). Głębokość wnikania mikrofal w tkankę jest odwrotnie proporcjonalna do ilości zawartej w niej wody. Efekty biologiczne towarzyszące pochłanianiu promieniowania mikrofalowego zależą zarówno od ilości pochłoniętej energii, jak i od szybkości jej pochłaniania. Zależność ta charakteryzowana jest wielkością SAR (ang. *specific absorption rate*). Wartość ta określana jest jako szybkość pochłaniania energii przez jednostkę masy. Wartość SAR można określić na podstawie pomiarów natężenia pola elektromagnetycznego w tkankach lub za pomocą metod kalorymetrycznych. Działanie promieniowania mikrofalowego na obiekt biologiczny jest skutkiem pochłaniania przez nie energii. W trakcie ekspozycji organizmu na tego typu promieniowanie, część energii docierającej do obiektu zostaje pochłonięta i zamieniona na ciepło. Ilość pochłanianej energii oraz jej rozkład przestrzenny w obiekcie biologicznym zależne są od częstotliwości

ści promieniowania oraz parametrów elektrycznych napromienianych tkanek: głównie przewodności elektrycznej i stałej dielektrycznej. Oba te parametry wykazują właściwości dyspersyjne i uzależnione są od stopnia uwodnienia tkanek. W przypadku działania mikrofalami na obiekt biologiczny w napromienianych tkankach występują efekty termiczne i nietermiczne. Według Dewiatkowa (1987) efekt termiczny ma miejsce wówczas gdy w wyniku absorpcji energii promieniowania elektromagnetycznego następuje wzrost temperatury obiektu, większy niż $0,2^{\circ}\text{C}$. Skutki termiczne zależą także od stosunku rozmiarów napromienianego ciała do długości fali oraz ułożenia obiektu w stosunku do kierunku wektora pola elektrycznego. Nietermiczny charakter oddziaływania promieniowania mikrofalowego na organizmy żywe obserwowany jest szczególnie w milimetrycznym zakresie długości fal. W tym zakresie częstotliwości, wydaje się możliwe oddziaływanie poprzez efekty rezonansowe gdyż według Weeba (1983) oraz Belajewa i in. (1994) częstotliwości drgań własnych niektórych makrocząsteczek materiałów biologicznych leżą w zakresie częstotliwości odpowiadających zakresowi fal milimetrycznych. Zdaniem Didenko i in. (1985), Dewiatkowa (1987) oraz Olchowik (2002) energia kwantu promieniowania milimetrycznego (10^{-4} - 10^{-3} eV) jest znacznie mniejsza od energii wiązania wodorowego (10^{-1} - 10^{-2} eV). Oznacza to, że jego działanie na struktury biologiczne nie może powodować rozerwania najsłabszych nawet wiązań wodorowych, może natomiast prowadzić do zmian konformacyjnych cząsteczek i przez to wpływać na procesy biochemiczne zachodzące w komórce.

ZAKRES I METODA BADAŃ

Badania prowadzono w ciągu trzech kolejnych lat (2007-2009) w rejonie Polski Południowej na glebie lekkiej, piasek słabo gliniasty, klasa bonitacyjna IIIa. Gleba w obrębie poletek doświadczalnych cechowała się średnimi zawartościami fosforu i potasu, wysokimi magnezu a pH wynosiło 5,8. Doświadczenie poletkowe ściśle założono metodą losowanych bloków w trzech replikacjach. W każdej replikacji doświadczenia (w każdym roku) wykorzystano 100 sadzeniaków ziemniaka (tab. 1). Badano reakcję trzech bardzo wczesnych odmian ziemniaka (Felka Bona, Rosara i Velox) na promieniowanie mikrofalowe. Przyjęto jeden poziom napromieniowania sadzeniaków ziemniaka mikrofalami (mikrofale pochodzące z generatora działającego z mocą 100 W przez czas 10 s). Zmiennymi niezależnymi były:

- rok badań,
- odmiana ziemniaka,
- termin w którym napromieniowano sadzeniaki ziemniaka mikrofalami (przed przechowywaniem, po przechowywaniu oraz przed i po przechowywaniu), wprowadzono próbę kontrolną – sadzeniaki nienapromieniowane.

Tabela 1. Charakterystyka bulw ziemniaka wykorzystanych w doświadczeniu
Table 1. Characteristics of potato tubers used in the experiment

Miara statystyczna Statistical measure		Odmiana i rok badań – Variety and year								
		Felka Bona			Rosara			Velox		
		2007	2008	2009	2007	2008	2009	2007	2008	2009
Masa pojedynczego sadzeniaka Mass of single tuber (g)	średnia average	39,9	39,5	47,4	44,9	46,2	46,4	39,7	46,5	46,1
	maksymalna maximum	42,7	53,5	54,4	54,3	52,9	51,2	44,5	50,0	49,7
	minimalna minimum	35,0	35,1	42,0	38,2	38,2	42,8	35,0	38,9	42,1
Odchylenie standardowe Standard deviation (g)		2,2	5,6	5,0	6,3	6,1	2,9	3,3	3,8	2,3
Wariancja Variance (g)		4,7	31,0	24,9	39,1	36,7	8,3	11,0	14,8	5,4
Zmienność Variation coefficient (%)		5,5	14,1	10,5	13,9	13,1	6,2	8,3	8,3	5,1

Przyjęto następujące oznaczenia terminów, w których napromieniowano sadzeniaki ziemniaka mikrofalami:

T1 – sadzeniaki ziemniaka napromieniowane mikrofalami przed przechowywaniem (potato tubers microwave irradiated before the storage),

T2 – sadzeniaki ziemniaka napromieniowane mikrofalami po przechowywaniu (potato tubers microwave irradiated after the storage),

T3 – sadzeniaki ziemniaka napromieniowane mikrofalami przed i po przechowywaniu (potato tubers microwave irradiated before and after the storage),

T0 – próba kontrolna (control sample).

W trakcie okresu wegetacji prowadzono obserwacje wzrostu, rozwoju oraz plonowania roślin. Badano 40 losowo wybranych roślin z każdej replikacji. Zmiennymi zależnymi były:

- liczba pędów głównych i ich długość,
- masa i liczebność bulw w plonie.

Długość pędów mierzono (po 40 dniach od posadzenia) od wierzchołka redliny do wierzchołka łodygi (pędu). Wynikiem pomiaru była wartość średniej arytmetycznej pomierzonych długości z uwzględnieniem liczby pędów przypadających na daną roślinę. Badania związane z zasobnością gleby w makroelementy zostały przeprowadzone za pośrednictwem Stacji Chemiczno-Rolniczej. Dane

meteorologiczne pozyskano z map klimatycznych (odczytano wartości izoterm i izohiet) udostępnionych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

Uzyskane dane liczbowe poddano analizie statystycznej na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Zmienne zależne o charakterze skokowym badano z wykorzystaniem nieparametrycznego odpowiednika analizy wariancji (test rang Kruskala-Wallisa). Dla określenia grup homogenicznych zmiennych zastosowano test post-hoc będący porównaniem wielokrotnym średnich rang dla badanych prób. Dla zmiennych zależnych o charakterze ciągłym testem Kołmogorowa-Smirnowa, stwierdzono, że badane rozkłady spełniają warunki rozkładu normalnego a jednorodność wariancji w badanych próbach oceniono testem F-Snedecora. Wykonano jednowymiarową analizę wariancji dla układów czynnikowych (dla wielu zmiennych jakościowych) z uwzględnieniem efektów interakcji między predyktorami jakościowymi. Dla statystycznie istotnych zależności określono grupy homogenicznych zmiennych. W tym celu jako procedurę porównań wielokrotnych (test post-hoc) zastosowano test wielokrotnego rozstępu Duncana.

W doświadczeniu wykorzystano urządzenie wyposażone w magnetron generujący mikrofałe o częstotliwości 2,45 GHz. Pojedynczą bulwę ziemniaka umieszczano na obrotowym talerzu we wnętrzu szczelnej komory urządzenia generującego mikrofałe. Generator mikrofał wyposażony był w precyzyjny wyłącznik czasowy. Bezpośrednio przed umieszczeniem bulwy ziemniaka w komorze urządzenia generującego mikrofałe określono jej masę przy użyciu wagi laboratoryjnej o dokładności pomiaru 0,1 g. Znając masę poszczególnych sadzenia-ków obliczono teoretyczne (nie uwzględniające żadnych strat) dawki napromieniowania mikrofalami. Zdaniem Miki i in. (2004) energia mikrofał jaka oddziałuje na powierzchnię napromienianego ciała zależy od odległości w jakiej znajduje się promiennik. Rzeczywista sprawność magnetronu, po uwzględnieniu strat cieplnych i strat na promieniowanie wynosi zaledwie 50% a w przypadku 10 cm dystansu między końcówką falowodu a napromienianym obiektem energia ta maleje jeszcze o około 40%. Mikrofałe mogą ulegać odbiciu, rozproszeniu, załamaniu i dyfrakcji na strukturach tkankowych a padająca na powierzchnię wiązka mikrofał zostaje jedynie w około 50% przez nie pochłonięta (pozostała część zostaje odbita od powierzchni). W prezentowanym doświadczeniu teoretyczna całkowita dawka napromieniowania mikrofalami wynosiła 1000 J a rzeczywiste jednostkowe dawki napromieniowania, uwzględniające masę bulwy i ewentualne straty zawierały się w przedziale od 1,8 do 2,9 J·g⁻¹. Dawka całkowita promieniowania mikrofalowego to iloczyn mocy urządzenia generującego mikrofałe i czasu ekspozycji a dawka jednostkowa to iloraz dawki całkowitej i masy napromienianej bulwy ziemniaka. Efekt cieplnego działania mikrofał (w dawkach teoretycznych) na napromienianą bulwę ziemniaka można określić poprzez przyrost jej temperatury według zależności podanej przez autora (Jakubowski 2009).

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Rok, w którym prowadzono badania i przyjęte w doświadczeniu odmiany nie wpływały istotnie na liczbę łodyg roślin ziemniaka (tab. 2). Statystycznie istotny wpływ na liczbę łodyg roślin ziemniaka stwierdzono w zależności od terminu w jakim napromieniowano sadzeniaki (tab. 3). W przypadku roślin wyrosłych z sadzeniaków ziemniaka napromieniowanych przed i po okresie przechowywania (a więc dwukrotnie) stwierdzono istotnie większą (o 19% w porównaniu z próbą kontrolną) liczbę pędów w porównaniu z pozostałymi kombinacjami doświadczenia (rys. 1).

Tabela 2. Wynik analizy wariancji; wpływ roku badań, odmiany i terminu stymulacji mikrofalami na liczbę łodyg rośliny ziemniaka

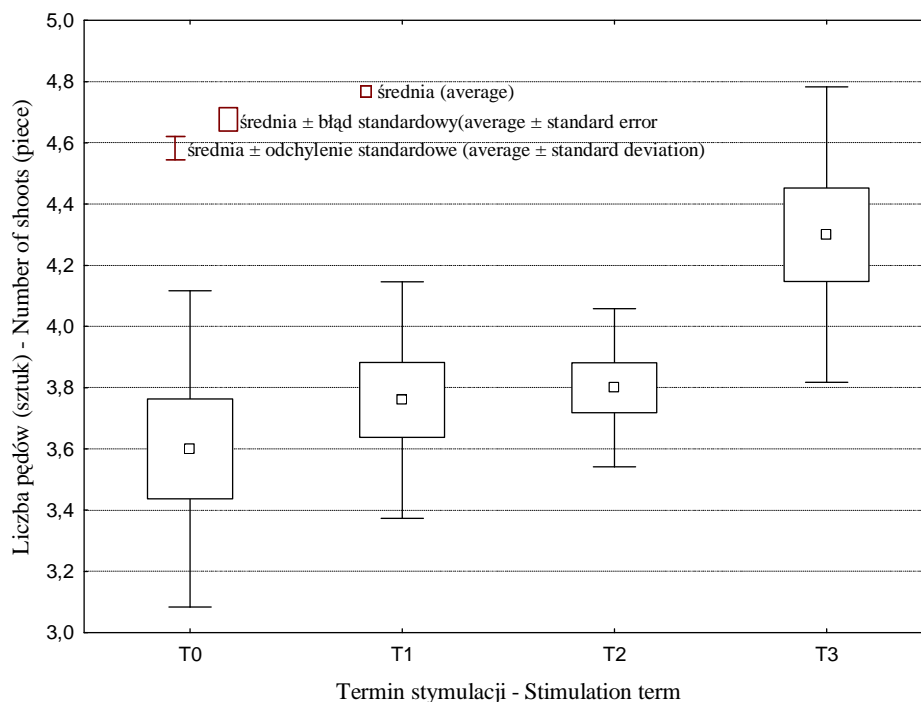
Table 2. Result of analysis of variance; impact of years of research, variety and time of microwave stimulation on the number of stems of potato plants

Zmienna niezależna Qualitative predictor	Wartość testu Kruskala-Wallisa Kruskal-Wallis value test	Poziom prawdopodobieństwa testowego Level of test probability
Rok – Year	H = 0,187	p = 0,910 (nieistotne – insignificant)
Odmiana – Variety	H = 0,253	p = 0,881 (nieistotne – insignificant)
Termin stymulacji Stimulation term	H = 232,35	p = 0,000 (istotne – significant)

Tabela 3. Arkusz wyników porównań wielokrotnych; wpływ terminu stymulacji mikrofalami na liczbę łodyg roślin ziemniaka (z – wartość testu post-hoc, p – wartość prawdopodobieństwa testowego)

Table 3. Score sheet of multiple comparisons; impact of time of microwave stimulation on the number of potato stems (z – value of post-hoc test, p – value of test probability)

Termin stymulacji Stimulation term	Średnie rangi – Average rang (R)							
wartość z i p value of z and p	(T0) R:5252,5		(T1) R:5370,5		(T2) R:5372,5		(T3) R:5606,5	
	z	p	z	p	z	p	z	p
T0			1,391	0,985	1,415	0,942	4,172	0,000
T1	1,391	0,985			0,024	1,000	2,781	0,032
T2	1,415	0,942	0,024	1,000			2,757	0,035
T3	4,172	0,000	2,781	0,032	2,757	0,034		



Rys. 1. Średnia liczba pędów jednej rośliny w zależności od terminu stymulacji sadzoniaków ziemniaka mikrofalami

Fig. 1. Average number of shoots of one plant depending on the date of microwave stimulation of potato tubers

W tabeli 4 przedstawiono wynik analizy wariancji dotyczący wpływ roku badań, odmiany i terminu stymulacji mikrofalami na długość łodyg rośliny ziemniaka. Termin napromieniowania sadzoniaków mikrofalami istotnie modyfikował średnią wysokość pędu w roślinie ziemniaka. Na podstawie wyniku testu Dunca na wyodrębniono trzy grupy jednorodne (tab. 5). Pierwszą grupę utworzyły rośliny wyrosłe z sadzoniaków napromieniowanych przed przechowywaniem oraz rośliny próby kontrolnej. Osobne grupy utworzyły rośliny wyrosłe z sadzoniaków napromieniowanych po przechowywaniu oraz rośliny wyrosłe z sadzoniaków napromieniowanych dwukrotnie (przed i po przechowywaniu). W pierwszym przypadku średnia długość pędu rośliny była o 0,5% mniejsza a w drugim przypadku o 2,5% większa w porównaniu z próbą kontrolną. Ze względu na fakt, że w kolejnych latach badań (rok badań istotnie wpływał na średnią wysokość pędu) pomierzone wysokości pędów w roślinie ziemniaka różniły się między sobą, na rysunku 2 przedstawiono graficzną prezentację wpływu interakcji roku w którym

prowadzono badania i terminu stymulacji mikrofalami na średnią wysokość pędu. Z przedstawionej prezentacji wynika, że czynnikiem znacząco determinującym istotność wpływu roku badań na zmienną zależną (wysokość pędu) były wyniki uzyskane w części doświadczenia gdzie sadzeniaki napromieniowano dwukrotnie (przed i po przechowywaniu). Potwierdzeniem tego stwierdzenia jest wynik testu Duncana określający wpływ interakcji roku badań i terminu stymulacji na wysokość pędu w którym rośliny wyrosłe z sadzeniaków ziemniaka napromieniowanych dwukrotnie (przed i po przechowywaniu) utworzyły we wszystkich latach jedną grupę homogeniczną.

Tabela 4. Wynik analizy wariancji; wpływ roku badań, odmiany i terminu stymulacji mikrofalami na długość łodyg rośliny ziemniaka

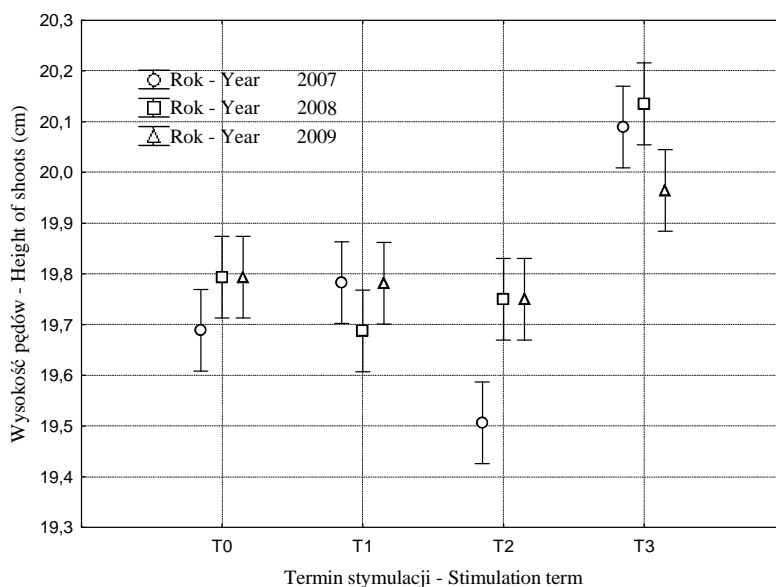
Table 4. Result of analysis of variance, impact of years of research, variety and time of microwave stimulation on the length of stems of potato plants

Zmienna niezależna Qualitative predictor	Suma kwadratów Sum of squares	Stopnie swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat Mean square	Wartość testu F Value of F	Testowy poziom prawdopodobieństwa Level of test probability
Wyraz wolny Absolute term	4238414	1	4238414	2790612	0,000
Rok Year (1)	11	2	5	4	0,028
Odmiana Variety (2)	2	2	1	1	0,584
Termin stymulacji Stimulation term (3)	243	3	81	53	0,000
1*2	44	4	11	7	0,000
1*3	51	6	8	6	0,000
2*3	16	6	3	2	0,093
1*2*3	38	12	3	2	0,015
Błąd – Error	16348	10764	2		

Tabela 5. Wynik testu Duncana (grupy jednorodne); wpływ terminu stymulacji mikrofalami na średnią wysokość pędu w roślinie ziemniaka

Table 5. Duncan's test (homogeneous group); the impact of microwave stimulation term on average height of shoots of potato plants

Termin stymulacji Stimulation term	Wysokość pędów Height of shoots (cm)	Grupy jednorodne Homogeneous group		
		1	2	3
T2	19,7		****	
T1	19,8	****		
T0	19,8	****		
T3	20,1			****



Rys. 2. Średnia wysokość pędu rośliny ziemniaka w zależności od interakcji roku w którym prowadzono badania i terminu stymulacji mikrofalami

Fig. 2. Average height of potato shoot depending on the interaction of the year in which the test was conducted and the date of microwave stimulation

Analiza wariancji (tab. 6) dotycząca wpływu roku badań, odmiany i terminu stymulacji mikrofalami na masę plonu bulw spod jednej rośliny ziemniaka wykazała istotne oddziaływanie wszystkich zmiennych niezależnych na badaną zmienną zależną (masę plonu bulw). Wynik testu Duncana określający wpływ terminu stymulacji mikrofalami na średnią masę plonu bulw spod jednej rośliny ziemniaka

wykazał istnienie czterech grup jednorodnych przy czym każda kombinacja doświadczenia utworzyła osobną grupę homogeniczną (tab. 7). Rośliny ziemniaka wyrosłe z sadzeniaków napromieniowanych dwukrotnie (przed i po przechowywaniu) odznaczały się masą plonu bulw o 7,8% większą w porównaniu z próbą kontrolną a rośliny wyrosłe z sadzeniaków napromieniowanych po i przed przechowywaniem masą większą odpowiednio o 4,9% i 3,3% (próba kontrolna = 100%). Ze względu na fakt, że rok badań i odmiana istotnie wpływały na średnią masę plonu bulw na rysunkach 3 i 4 przedstawiono graficzne prezentacje wpływu interakcji roku w którym prowadzono badania oraz odmiany ziemniaka i terminu stymulacji mikrofalami na średnią masę plonu bulw spod jednej rośliny. Z przedstawionych prezentacji wynika, że w przypadku roku badań czynnikiem znacząco determinującym istotność wpływu tej zmiennej niezależnej na średnią masę plonu bulw były wyniki uzyskane w części doświadczenia gdzie sadzeniaki napromieniowano dwukrotnie (przed i po przechowywaniu) oraz po okresie przechowywania w roku 2009. W przypadku od-

Tabela 6. Wynik analizy wariancji; wpływ roku badań, odmiany i terminu stymulacji mikrofalami na masę plonu bulw spod jednej rośliny ziemniaka

Table 6. Result of analysis of variance; the impact of years of research, variety and time of microwave stimulation on the weight of tuber yield from one potato plant

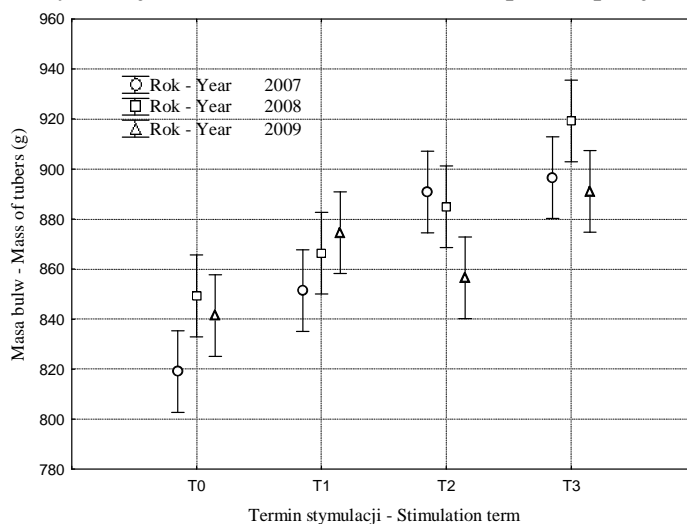
Zmienna niezależna Qualitative predictor	Suma kwadratów Sum of squares	Stopnie swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat Mean square	Wartość testu F Value of F	Testowy poziom prawdopodobieństwa Level of test probability
Wyraz wolny Absolute term	8176430000	1	8176430000	130968,6	0,0000
Rok – Year (1)	526049	2	263025	4,2	0,0148
Odmiana Variety (2)	3723036	2	1861518	29,8	0,0000
Termin stymulacji Stimulation term (3)	6068307	3	2022769	32,4	0,0000
1*2	21894790	4	5473699	87,7	0,0000
1*3	1172081	6	195347	3,1	0,0046
2*3	21366920	6	3561154	57,0	0,0000
1*2*3	51725060	12	4310422	69,0	0,0000
Błąd Error	8176430000	10764	62430		

Tabela 7. Wynik testu Duncana (grupy jednorodnie); wpływ terminu stymulacji mikrofalami na średnią masę plonu bulw spod jednej rośliny ziemniaka

Table 7. Duncan's test (homogeneous groups); impact of microwave stimulation term on the average weight of tuber yield from one potato plant

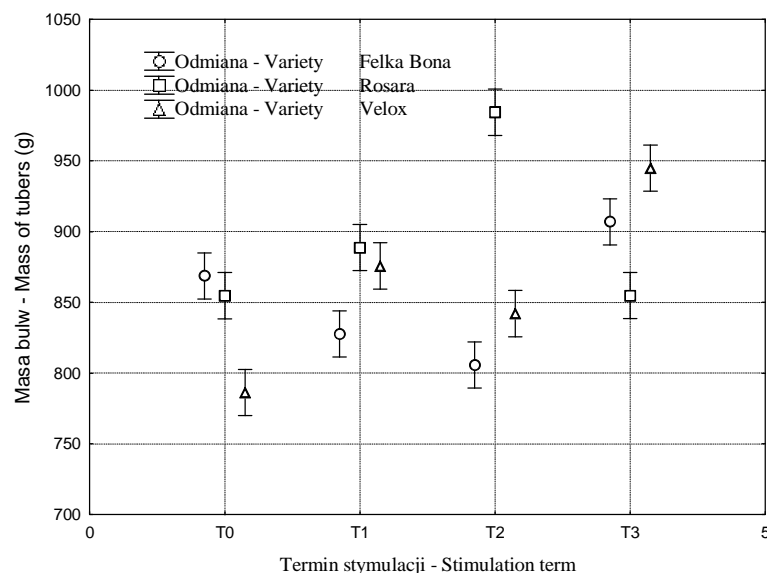
Termin stymulacji Stimulation term	Masa plonu Mass of yield (g)	Grupy jednorodne Homogeneous groups			
		1	2	3	4
T0	836,6	****			
T1	864,1		****		
T2	877,4			****	
T3	902,3				****

miany ziemniaka czynnikiem znacząco determinującym istotność wpływu tej zmiennej niezależnej na średnią masę plonu bulw były wyniki uzyskane w części doświadczenia gdzie sadzeniaki odmiany Rosara napromieniowano po okresie ich przechowywania. Zauważalna jest również duża rozbieżność w wartościach średnich masy plonu bulw spod jednej rośliny w przypadku części doświadczenia gdzie sadzeniaki wszystkich badanych odmian napromieniowano dwukrotnie (przed i po okresie ich przechowywania). Wynik analizy wariancji nie wykazał statystycznie istotnego wpływu terminu stymulacji mikrofalami na liczbę bulw w plonie spod jednej rośliny.



Rys. 3. Średnia masa plonu bulw spod jednej rośliny ziemniaka w zależności od interakcji roku w którym prowadzono badania i terminu stymulacji mikrofalami

Fig. 3. Average mass of tubers yield from one potato plant depending on the interaction of the year in which the test was conducted and the date of stimulation microwave



Rys. 4. Średnia masa plonu bulw spod jednej rośliny ziemniaka w zależności od interakcji między odmianą ziemniaka i terminem stymulacji mikrofalami

Fig. 4. Average mass of tubers yield from one potato plant depending on the interaction between the variety of potato and date of microwave stimulation

Tabela 8. Wynik analizy wariancji; wpływ roku badań, odmiany i terminu stymulacji mikrofalami na liczbę bulw w plonie spod jednej rośliny ziemniaka

Table 8. Result of analysis of variance; impact of years of research, variety and term of microwave stimulation on the number of tubers in the yield from one potato plant

Zmienna niezależna Qualitative predictor	Wartość testu Kruskala-Wallisa Kruskal-Wallis value test	Poziom prawdopodobieństwa testowego Level of test probability
Rok – Year	H = 62,84	p = 0,000 (istotne – significant)
Odmiana – Variety	H = 43,54	p = 0,000 (istotne – significant)
Termin stymulacji – Stimulation term	H = 4,155	p = 0,245 (nieistotne – insignificant)

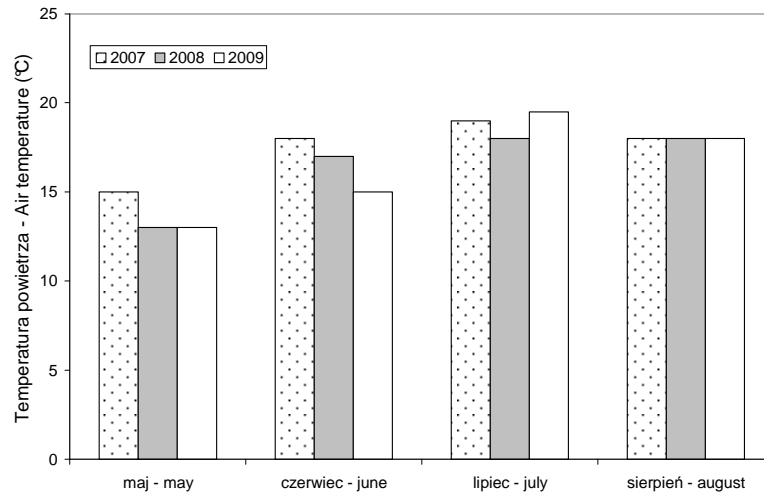
W procesie fotosyntezy wytworzona zostaje biomasa, która dystrybuowana jest między organy rośliny stanowiące plon rolniczy a pozostałe jej części. Dystrybucja biomasy do poszczególnych części roślin ziemniaka decyduje o ich produktywności. Z jednej strony bujny rozwój części nadziemnej rośliny ziemniaka gwarantuje uzyskanie prawidłowej powierzchni asymilacyjnej z drugiej zaś strony może prowadzić do wzajemnego zacieniania się roślin. W przypadku przeprowadzonego doświadczenia dwukrotne napromieniowanie sadzoniaków ziemniaka (przed i po okresie przechowywania) zwiększało nie tylko liczbę wyrosłych łodyg ale również i ich długość. Zwiększona liczba łodyg wynika zapewne z większej liczby aktywnie kiełkujących oczek w napromieniowanym sadzoniaku. W pracy Marksa i in. (2003) stwierdzono, że rośliny wyrosłe z sadzoniaków ziemniaka odmiany Irga napromieniowanych mikrofalami przed ich przechowywaniem (jesienna stymulacja) powoduje przyspieszenie ich wschodów. Według tego samego Autora (Marks i in. 2010) stymulacja sadzoniaków ziemniaka odmiany Vineta zmiennym polem magnetycznym ma korzystny wpływ na przebieg wegetacji nadziemnej części rośliny ziemniaka. Badania autora (Jakubowski 2008b) dotyczące dynamiki wzrostu kiełków bulw ziemniaka odmiany Felka Bona wykazały, że sadzoniaki napromieniowane mikrofalami odznaczały się zwiększoną masą i liczbą kiełków. Wynik tychże badań tłumaczony był głównie termicznym wpływem mikrofal na obiekt biologiczny gdzie aktywatorem wzrostu kiełków sadzoniaka była dodatkowo temperatura. Należy zauważyć, że głównym aktywatorem wzrostu bulwy ziemniaka są auksyny i to ich aktywność pobudza kiełkowanie. Jednakże, aby sadzoniak rozpoczął proces kiełkowania zawartość kwasów nukleinowych w tkankach merystematycznych musi osiągnąć określony poziom i odpowiedni skład jakościowy co związane jest ze wzrostem zawartości kwasów rybonukleinowych i dezoksyrybonukleinowych, wzrasta aktywność enzymów hydrolitycznych i intensywniej rozkładają się substancje zapasowe (głównie skrobia) (Wieczer i in. 1977). Jeśli przyjąć, że w trakcie napromieniania sadzoniaka mikrofalami dostarczana mu energia nie jest w całości zamieniana na ciepło lecz, energia ta, w określony sposób modyfikować będzie przebieg procesów biochemicznych to tak prezentowany mechanizm może wpływać na gospodarkę hormonalną rośliny. Pobudzenie fitohormonów może w dalszej kolejności prowadzić do pobudzenia elongacyjnego wzrostu rośliny czego efektem będzie zarówno większa liczba łodyg jak i większa ich wysokość.

W prezentowanym doświadczeniu poprzez napromieniowanie sadzoniaków mikrofalami uzyskano zwiększenie masy plonu bulw spod jednej rośliny ziemniaka. Był to efekt spodziewany. W pracy autora (Jakubowski 2008a) przedstawiono wyniki badań dotyczące plonowania roślin ziemniaka odmiany Felka Bona

wyrosłych z sadzeniaków napromieniowanych mikrofalami. Interpretacja tych wyników pozwoliła na stwierdzenie, że napromieniowanie mikrofalami sadzeniaków ziemniaka istotnie zwiększa masę plonu całkowitego i frakcji bulw o masie powyżej 40 g, zwiększa średnią masę bulwy ziemniaka natomiast nie wpływa na liczbę bulw spod jednej rośliny. W tym przypadku pozytywny efekt wpływu mikrofal na roślinę ziemniaka tłumaczony był zarówno czynnikiem termicznym jak i faktem, że rośliny te wyrosły z sadzeniaków podkiełkowanych i pobudzonych w procesie mikrofalowego ogrzewania. Takie tłumaczenie nie daje jednak odpowiedzi na pytanie dlaczego zarówno przy jednokrotnym jak i dwukrotnym napromieniowaniu sadzeniaków mikrofalami, a więc przed i po okresie ich przechowywania, uzyskano pozytywny (w odniesieniu do próby kontrolnej) efekt w postaci większej masy plonu. Marks i in. (2003, 2005, 2006) w swoich pracach dotyczących wpływu metod fizycznych (pola elektryczne i magnetyczne, promieniowanie mikrofalowe) na trwałość przechowalniczą bulw ziemniaka odmian Irga, Salto i Drop zaznaczają, że napromieniowanie mikrofalami powoduje obniżenie strat całkowitych i ubytków naturalnych oraz zmniejsza podatność przechowywanych sadzeniaków na porażenie przez *Rhizoctonia solani*, a rośliny wyrosłe z napromieniowanych sadzeniaków cechują się większą masą plonu. Zdaniem wspomnianych Autorów energia mikrofal pobudza metabolizm komórek i ma działanie stymulujące dla układów adaptacyjnych rośliny. W przypadku przeprowadzonego doświadczenia i uzyskanych w jego trakcie wyników badań mógł zaistnieć efekt synergii. Za taką teorią przemawia układ grup homogenicznych prezentowanych w tabeli 7 dotyczącej wpływu terminu stymulacji mikrofalami na średnią masę plonu bulw spod jednej rośliny ziemniaka. W takim przypadku promieniowanie mikrofalowe stosowane przed przechowywaniem zabezpieczałoby sadzeniaka przed ubytkami masy i atakami grzybów chorobotwórczych a stosowane po przechowywaniu wpływałoby na procesy związane z kiełkowaniem. Wynik uzyskany wśród roślin wyrosłych z sadzeniaków napromieniowanych dwukrotnie (przed i po okresie przechowywania) byłby natomiast sumą efektów przedstawionych powyżej. Podobne wyniki, w postaci większej masy plonu ogólnego i handlowego oraz korzystnej jego struktury zarówno masowej jak i wielkościowej, uzyskał Marks i Szcówka (2010) w trakcie badania wpływu stymulacji sadzeniaków ziemniaka odmiany Vineta zmiennym polem magnetycznym na plonowanie roślin potomnych. W przypadku tych badań wynik doświadczenia tłumaczony był pobudzeniem przez pole magnetyczne aktywności układów enzymatycznych i fitohormonalnych stymulowanej bulwy ziemniaka. Reasumując, stwierdzić można, że zarówno na podstawie prezentowanych wyników badań własnych autora, jak i przytoczanych pozycji literatury związanej z wpływem metod fizycz-

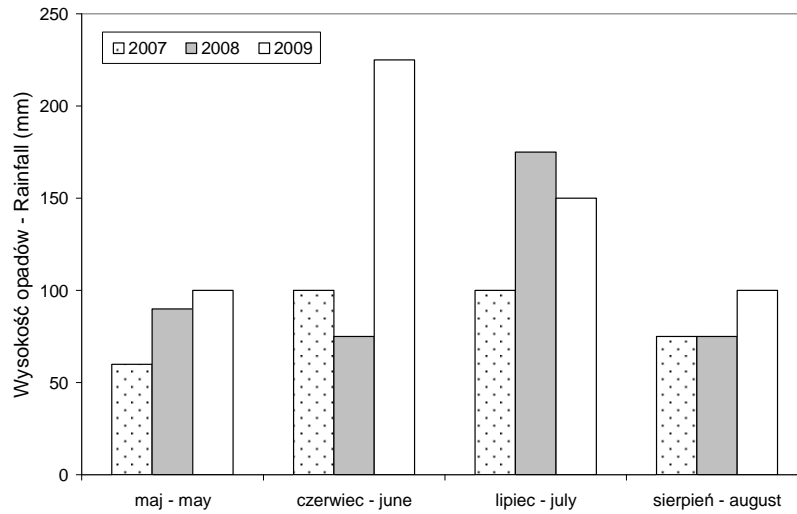
nych na przebieg procesów ontogenezy roślin ziemniaka, promieniowanie mikrofalowe oddziałuje na sadzeniaka poprzez efekt termiczny i nietermiczny. W przypadku efektu termicznego będzie to wzrost temperatury w wyniku drgania dipoli wody a w przypadku efektu nietermicznego może to być sama energia mikrofal pochłaniana przez bulwę ziemniaka. Zarówno efekt termiczny jak i nietermiczny oddziaływania mikrofal będzie wpływał na procesy biochemiczne zachodzące w napromienianej bulwie ziemniaka. Zależność szybkości reakcji od temperatury, w przypadku procesów biologicznych, określa się wg reguły van't Hoffa i równania Arrheniusa. Istotnym czynnikiem (obok stężenia substratów, potencjału redox, ciśnienia osmotycznego czy obecności substancji inhibitujących i aktywujących) warunkującym sprawność przemian biochemicznych (szybkością reakcji enzymatycznych) jest temperatura (Willers i in. 1993). Wynika to z faktu, że wzrost temperatury pociąga za sobą wzrost szybkości poruszania się cząsteczek, w wyniku czego zwiększa się częstotliwość ich zderzeń, co w dalszej kolejności prowadzi do przyspieszenia szybkości reakcji enzymatycznych. Pobudzenie procesów biochemicznych stymulowanych mikrofalami może skutkować, jak w przypadku prezentowanego doświadczenia, pobudzeniem wzrostu części nadziemnej rośliny ziemniaka a w następstwie zwiększeniem jej plonowania.

Zarówno w części doświadczenia gdzie badano wpływ napromieniowania sadzeniaków mikrofalami na długość łodyg jak i w części gdzie określano strukturę plonu bulw spod jednej rośliny ziemniaka rok badań istotnie wpływał na badane zmienne zależne. Wytłumaczeniem tego zjawiska może być układ warunków pogodowych, głównie temperatury powietrza i wysokości opadów, panujących w okresie wegetacji w rejonie gdzie założono doświadczenie. O ile średnie miesięczne sumy temperatur nie wykazywały znaczącego zróżnicowania w okresie badań (rys. 5), to miesięczne sumy opadów w czerwcu i lipcu 2009 roku (rys. 6) mogły znacząco wpłynąć na wzrost, rozwój i plonowanie roślin ziemniaka. Zaznaczyć należy, że warunki glebowe w obrębie poletek doświadczalnych były podobne a ewentualna zmienność glebowa powinna zostać zniwelowana przez wprowadzone replikacje. Wykazany w części doświadczenia, w której badano wpływ napromieniowania sadzeniaków mikrofalami na strukturę plonu bulw spod jednej rośliny ziemniaka, statystycznie istotny wpływ odmiany na badane zmienne zależne był spodziewany. Choć przyjęte w doświadczeniu odmiany ziemniaków reprezentują tą samą wczesność to według charakterystyki odmian ziemniaków podanej przez Chotkowskiego i in. (2008) różnią się wielkością produkowanego plonu.



Rys. 5. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w okresie wegetacji w rejonie gdzie prowadzono doświadczenie (lata 2007-2009)

Fig. 5. Average monthly air temperature during the growing season in the area where the test was conducted (2007-2009)



Rys. 6. Średnie miesięczne wartości opadów w okresie wegetacji w rejonie gdzie prowadzono doświadczenie (lata 2007-2009)

Fig. 6. Average monthly values of precipitation during the growing season in the area where the test was conducted (2007-2009)

WNIOSKI

1. Stwierdzono istotny wpływ terminu w którym napromieniano sadzeniaki ziemniaka mikrofalami na liczbę i długość łodyg oraz masę plonu bulw spod jednej rośliny.
2. Termin w którym napromieniano sadzeniaki ziemniaka mikrofalami nie modyfikował liczby bulw w plonie spod jednej rośliny.
3. Statystycznie istotna była interakcja terminu w którym napromieniano sadzeniaki mikrofalami i przyjętej w doświadczeniu odmiany ziemniaka na masę i liczbę bulw w plonie spod jednej rośliny.

PIŚMIENNICTWO

- Ahloowalia B.S., Małuszyński M., 2001. Induced mutations – a new paradigm in plant breeding. *Euphytica*, 118, 167-173.
- Belajew I.Y., Kravchenko V.G., 1994. Resonance effect of low-intensity millimeter waves on the chromatin conformational state of rat thymocytes. *Z. Naturforsch*, 49, 352-358.
- Chotkowski J., Stypa I., 2008. Odmiany ziemniaków. Charakterystyka tabelaryczna. Wydawnictwo IHAR – Bonin.
- Cogălniceanu G., Radu M., Fologea D., Brezeanu A., 2000. Short high-voltage pulses promote adventitious shoot differentiation from intact tobacco seedlings. *Electro- and Magnetobiology*, 19(2), 177-187.
- Dewiatkow N.D., 1987. Ispolzowanie niekogierentnych i kogierentnych elektromagnitnych kolebanij w medycynie i biologii. *Elektronnaja tehnika. Elektronika SWCZ*, 9.
- Didenko N.P., Zelencow W.I., Cza W.A., 1985. O konformacyjnych izmieniach biomolekul pri wozdejstwie z elektromagnitnym izluczeniem. *Prymienienie milimetrovogo izluczenia w biologii i medycynie*. Moskwa, 63-77.
- Hamada, E., 2007 Effects of microwave treatment on growth, photosynthetic pigments and some metabolites of wheat. *Biologia Plantarum*, 51(2), 343-345(3).
- Jakubowski T., 2007. Wpływ mikrofalowej stymulacji sadzaniaków ziemniaka na wzrost i rozwój roślin potomnych. *Inżynieria Rolnicza*, 6(49), 49-56.
- Jakubowski T., 2008a. Plonowanie roślin ziemniaka po uprzedniej ekspozycji sadzaniaków w polu mikrofalowym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, z.530, 117-125.
- Jakubowski T., 2008b. Wpływ napromieniowania mikrofalowego na dynamikę wzrostu kiełków bulwy ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 5(103), 7-13.
- Jakubowski T., 2009c. Modelowanie przyrostu temperatury bulwy ziemniaka w trakcie jej mikrofalowego ogrzewania. *Inżynieria Rolnicza*, 9(118), 79- 85.
- Marks N., Jakubowski T., 2006. Wpływ promieniowania mikrofalowego na trwałość przechowalniczą bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 6, 57-64.
- Marks N., Lipiec J., Jakubowski T., 2005. Ocena przydatności metod fizycznych do zwalczania przechowalniczych chorób bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 7, 169-175.
- Marks N., Sobol Z., Baran D., 2003. Ocena mikrofalowej stymulacji bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 11(53), 151-157.
- Marks N., Szczówka P., 2010. Impact of variable magnetic field stimulation on growth of above-ground parts of potato plants. *International Agrophysics*, 24(2), 165-170.

- Mika T., Kasprzak W., 2004. Fizykoterapia. PZWL Warszawa.
- Olchowik G., 2002. Analiza wpływu promieniowania mikrofalowego na proces osteogenezy i osteoporozy posteroideowej. Rozprawa habilitacyjna, AM Lublin.
- Olchowik G., Gawda H., 2002. Influence of microwave radiation on germination capacity of flax seeds. *Acta Agrophysica*, 62, 63-68.
- Pietrzyk W., 2006. Standaryzacja badań wpływu pól elektromagnetycznych na materiały pochodzenia biologicznego. *Acta Agrophysica*, 8(4), 915-921.
- Podleśny J., Pietruszewski S., Sowiński M., 2003. Wpływ biostymulacji magnetycznej nasion na kształtowanie się cech morfologicznych i plonowanie grochy siewnego. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Agrolaser 2003 Lublin.
- Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, 2008. Wydawnictwo GUS.
- Szajsner H., Drozd D., 2007. Uszlachetnianie nasion wybranych gatunków roślin warzywnych poprzez stymulację promieniami lasera. *Roczniki AR Poznań. CCCLXXXIII, Ogrodnictwo*, 41, 625-629.
- Weeb S.J., 1983. Nutrition coherent oscillations and solitary waves. The control of in vivo events in time and space and relation ship to disease. *IRCS Med. Sci.*, 11, 483-488.
- Wieczner A., Gonczarik M., 1977. Fizjologia i biochemia ziemniaka. PWRiL, 107.
- Willers H. C., Have P. W., Deriks P. J. L., Arts M. W., 1993. *Bioresource Technology*, 43, 47-61.

EFFECT OF SEED POTATOES MICROWAVE STIMULATION ON THE GROWTH AND YIELDS OF POTATO (*SOLANUM TUBEROSUM* L.)

Tomasz Jakubowski

Institute of Machinery Exploitation, Ergonomics and Production Processes,
Agricultural University of Kraków
ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków
e-mail: tjakubowski@ar.krakow.pl

Abstract. The paper presents the results of studies concerning the effect of the period when potato tubers were exposed to microwave irradiation on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and yields. The studies were conducted over three consecutive years (2007-2009) in southern Poland. The experimental plots were established as randomised blocks in three replications. The reaction of three very early potato varieties (Felka Bona, Rosara and Velox) to microwave radiation was studied. One level of microwave irradiation was applied (it was produced by a generator operating at 100 watts of power, for a period of 10 s). The following variables were considered as independent: the year of research, the potato variety and the period of irradiation of potato tubers (before storage, after storage, and before and after storage). During the vegetation period measurements of plants growth, development and yields were carried out. The following parameters were considered as dependent variables: number of main shoots and their length as well as the weight and number of tubers in the yield. A significant impact of the period of potato tubers exposure to microwave irradiation on the number and length of shoots as well as on the tubers yield per plant was observed.

Key words: microwaves, potato, development, yields