

KSZTAŁTOWANIE SIĘ PRZYROSTU BIOMASY ROŚLIN ZIEMNIAKA NAPROMIENIOWANYCH MIKROFALAMI

Tomasz Jakubowski

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

Streszczenie. W pracy zaprezentowano wyniki badań badanie przyrostu biomasy rośliny ziemniaka, w trakcie okresu wegetacji, wyrosłych z sadzeniaków napromieniowanych mikrofalami. W doświadczeniu wykorzystano bardzo wczesną odmianę ziemniaka Felka Bona której sadzeniaki napromieniowano mikrofalami. Stwierdzono istotny wpływ przyjętych w doświadczeniu czynników na przyrostu biomasy rośliny ziemniaka.

Słowa kluczowe: ziemniak, biomasa, promieniowanie mikrofalowe

Wstęp

Celem działalności człowieka w zakresie roślinnej produkcji rolniczej jest osiągnięcie możliwie najwyższych plonów o wysokiej jakości, które w dużej mierze determinowane są dystrybucją biomasy do organów stanowiących plon rolniczy [Gawrońska 1998]. Biomasa powstaje w wyniku wiązania przez roślinę energii promieniowania słonecznego i przemiany jej w energię chemiczną magazynowaną w związkach organicznych. Niewątpliwie biomasa roślinna stanowi materiał energetyczny wykorzystywany przez cały świat organizmów żywych. Dla producenta rolnego szczególne znaczenie ma biomasa roślin uprawnych (a dokładnie plon użyteczny). Biomasa wytwarzana przez łan roślin ziemniaka jest efektem działania kompleksu czynników o różnym stopniu ważności i różnym powiązaniu. W obecnie stosowanych symulacyjnych modelach wzrostu i plonowania roślin ziemniaka (np. *Potato*, *WOFOST*, *EPIC*, *CropWatN*, itp) uwzględniane parametry to najczęściej: okresy fenologiczne, warunki atmosferyczne i glebowe oraz w kilku przypadkach stosowana agrotechnika. Bez względu na rodzaj zastosowanego modelu dokładne oszacowanie przyrostu biomasy rośliny jest zadaniem trudnym do realizacji. Dokładne określenie produktywności rośliny (poprzez jej poziomy produktywności: potencjalny, osiągalny aż do aktualnego z uwzględnieniem czynników determinujących, ograniczających i redukujących) a poprzez to oszacowanie jej biomasy z uwzględnieniem zmian czasowych może być obarczone dużym błędem [Allen i in. 1980; Khurana i in. 1982; Haverkort i in. 1986; Mazurczyk 1995; Taiz i in. 2002]. Według poglądów Miřlina [2000], plon jest zależny od fenotypu w interakcji z genotypem i czynnikami środowiska. Fenotyp jednakże jest ściśle związany z genotypem - to właśnie oddziaływanie między genotypem a środowiskiem daje fenotyp. Istnieje zatem prawdopodobieństwo, że działanie metodami fizycznymi na materiał siewny może modyfikować przebieg niektórych procesów ontogenezy rośliny. Dostępne w literaturze wyniki badań, dotyczące wpływu metod fizycznych na materiał roślinny,

jednoznacznie wskazują, że stosowanie tych metod wpływa na przyrost biomasy stymulowanych roślin. Pozytywny efekt oddziaływania metod fizycznych, w postaci przyrostu biomasy, został omówiony przez Cogalniceanu i in. [2000] i Pietruszewskiego [2003] (pole elektryczne), Stašelis i in. [2003] (pole magnetyczne), Gładyszewską i in. [2002] (światło lasera), Ahloowalia i in. [2001] (promieniowanie gamma) oraz Olchowik i in. [2002] (promieniowania mikrofalowe). Większość wyników badań dotyczących wytworzonej w procesie fotosyntezy biomasy roślin bazuje na danych liczbowych pozyskanych w końcu wegetacji. Zaznaczyć należy, że produkcja biomasy jest procesem dynamicznym i wskazanym jest rozpatrywanie tego zjawiska w całym okresie tworzenia plonu rolniczego. Mając na uwadze powyższe cel pracy sformułowano jako badanie zmian w przyroście biomasy roślin ziemniaka, w trakcie okresu wegetacji, wyrosłych z sadzeniaków napromieniowanych mikrofalami.

Zakres pracy i metodyka

W doświadczeniu wazonowym, prowadzonym w latach 2007-2009 pod osłoną tunelu foliowego, wykorzystano bardzo wczesną odmianę ziemniaka Felka Bona. Badania prowadzono na 36 roślinach wg następującego schematu: próba kontrolna (12 roślin), próba napromieniowana w czasie 15 s przy mocy generatora mikrofal 100 W (12 roślin), próba napromieniowana mikrofalami w czasie 15 s przy mocy generatora mikrofal 1000 W (12 roślin). Wazony, w których prowadzono doświadczenie, wypełniono jednorodną glebą z dodatkiem około 30% humusu tak aby ich masa nie różniła się. 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. Masa wazonu z glebą wynosiła 38 kg. W pierwszej dekadzie kwietnia, w wazony wypełnione glebą, na głębokości 5 cm, posadzono bulwy ziemniaka. Bezpośrednio po posadzeniu ponownie określono masę wazonów wraz z sadzeniakami (M_0). W celu realizacji założonego zadania badawczego co 5 dni dokonywano pomiaru masy wazonu wraz z rośliną ziemniaka. W celu usytuowania konkretnego pomiaru w okresie badawczym i uchwycenia zmian w kształtowaniu się przyrostu biomasy rośliny ziemniaka wynik (M_N) każdego pomiaru notowano z zaznaczeniem jego kolejności. Określenia przyrostu biomasy rośliny ziemniaka (M_K) dokonywano przy użyciu zależności (1):

$$M_K = M_N - M_0 \text{ [g]} \quad (1)$$

gdzie:

- M_K – masa rośliny ziemniaka po okresie K dni [g],
- M_0 – masa początkowa donicy wraz z glebą i sadzeniakiem ziemniaka [kg],
- M_N – masa donicy wraz z glebą i sadzeniakiem ziemniaka po okresie N dni [kg],
- N – indeks określający liczbę dni od chwili posadzenia sadzeniaka,
- K – indeks określony jako $K = N$.

Rośliny nawadniano zgodnie z metodą opisaną w pracy autora [Jakubowski 2009a]. Sadzeniaki do badań dobrano celowo kierując się wizualną zdrowotnością materiału biologicznego oraz ich podobną masą. Masa sadzeniaków oscylowała wokół wartości 45 g przy

wartości średniej 44,4 g i odchyleniu standardowym 2,1 g. Dobór sadzeniaków o podobnej masie pozwolił na niewielkie zróżnicowanie w zakresie wielkości jednostkowych dawek promieniowania mikrofalowego oraz zachowanie jednorodności sadzonego materiału. Sadzeniaki napromieniowano w czasie 15 s przy mocy urządzenia generującego mikrofałe 100 i 1000 W co odpowiadało 31,25-375 J·g⁻¹ dawek jednostkowych promieniowania. Jednostkowe dawki napromieniowania obliczono jak w pracy autora [Jakubowski 2009a]. Znajomość wartości dawek jednostkowych pozwala na wyznaczenie temperatury bulwy ziemniaka po jej napromieniowaniu [Jakubowski 2009b]. Częstotliwość mikrofał wynosiła 2,45 GHz. Czas ekspozycji sadzeniaków na mikrofałe ustalono wg badań autora [Jakubowski 2007] z których wynika, że przy tych wartościach napromieniowania, odmiana Felka Bona cechuje się istotnie wyższym plonem całkowitym. Zmianie ulegała moc generatora mikrofał. Dla zbadania wpływu tego parametru na rośliny ziemniaka przyjęto dwie skrajne wartości 100 i 1000 W. W badaniach wykorzystano urządzenie generujące mikrofałe wyposażone w precyzyjny wyłącznik czasowy i obrotowe dno. Zabiegi pielęgnacyjne i ochronne ograniczono do obsypywania roślin, ręcznego pielenia oraz wykonania oprysku, preparatem *Actara* dawką 0,08 kg·ha⁻¹, w celu zabezpieczenia obiektu przed *Leptinotarsa decemlineata*. Wykonano oprysk (dawką 4 kg·ha⁻¹) *Miedzianem 50 WP* w celu zabezpieczenia obiektu przed chorobami grzybowymi. Masę sadzeniaka określano za pomocą wagi laboratoryjnej o dokładności pomiaru 0,02 g a masę donic przy użyciu wagi platformowej o dokładności pomiaru 2 g. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem pakietu *STATISTICA 8.0*. Wykonano analizę wariancji dla pomiarów powtarzanych na poziomie istotności $\alpha=0,05$. Procedurę porównań wielokrotnych uwzględniającą statystycznie istotną zmienną zależną oparto o test NIR Fisher'a. W zależności od rodzaju analizowanych zmiennych uwzględniano odpowiedni błąd (międzygrupowy, powtarzanych pomiarów, połączony) [Stanisz 2007].

Wyniki badań

Przeprowadzona analiza wariancji wskazała na istotność zmiennych niezależnych (roku w którym przeprowadzono badania oraz zastosowanej mocy generatora mikrofał), zmiennej zależnej (masy roślin w kolejnych datach wykonania pomiaru) oraz niektórych powiązań (interakcji) między zmiennymi niezależnymi a zmienną zależną (tab. 1).

W prezentowanym doświadczeniu, spośród wymaganych do spełnienia założeń leżących u podstaw analizy wariancji z powtarzanymi pomiarami, niespełnione zostało założenie dotyczące sferyczności (tab. 2), które zakłada równość wariancji różnic wśród wszystkich par eksperymentalnych (przeprowadzony test Mauchley'a wykazał niską wartość testu W a wysoką wartość Chi-kwadrat). Istotność testu Mauchley'a świadczy, że wartość statystyki F pokazanej w tabeli 1 może podawać błędne wyniki. Mając na uwadze powyższe wprowadzono czynniki korygujące liczbę stopni swobody dla przeprowadzonego testu jednowymiarowego. Uwzględnione czynniki korygujące określają odstępstwo macierzy kowariancji od symetrii połączonej i służą do modyfikacji liczby stopni swobody związanych z testem F. Jako parametry korygujące uwzględniono poprawki Geisser'a-Greenhouse'a i Huyhn'a-Feldt'a oraz poprawkę ograniczenia dolnego (tab. 3) [Stanisz 2007]. Jak wynika z danych zaprezentowanych w tabeli 3 dostosowane wartości prawdopodobieństwa testowego nie zmieniły wartości testu F co zezwoliło na wykonanie dalszych

analiz. W dalszej kolejności, w celu oceny istotnych różnic między badanymi zmiennymi, przeprowadzono testy post-hoc. Na badaną zmienną zależną istotny wpływ miał rok w którym prowadzono badania. Lata 2007-2008 utworzyły osobną grupę homogeniczną a rok 2009 odrębną. Przyczyną tego zjawiska zapewne był mikroklimat panujący we wnętrzu tunelu, który w głównej mierze determinowany był poprzez temperaturę otoczenia. W tabeli 4 przedstawiono wpływ mocy generatora mikrofal na średni plon biomasy roślin ziemniaka. Z przedstawionych danych wynika, że napromieniowanie sadzeniaków roślin ziemniaka mikrofalami generowanymi przez urządzenie działające z mocą 100 W zwiększa przyrost biomasy o blisko 25% a przez urządzenie działające z mocą 1000 W zmniejsza ten przyrost o około 19% w odniesieniu do próby kontrolnej. Na rysunku 1 zobrazowano efekt interakcji daty w której wykonano pomiar i mocy urządzenia generującego mikrofałe w odniesieniu do przyrostu biomasy rośliny ziemniaka. Podobne wyniki uzyskał autor [Jakubowski 2007] badając, poprzez zależności korelacyjne, wpływ mikrofalowej stymulacji sadzeniaków ziemniaka odmian Felka Bona i Aster na wzrost i rozwój roślin potomnych - w badaniach tych stwierdzono jednak, że już jednostkowe dawki promieniowania mikrofalowego o wartości powyżej $18,5 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ powodują obniżenie plonowania roślin ziemniaka.

Tabela 1. Wynik analizy wariancji dla układu z powtarzanimi pomiarami; wpływ roku badań i mocy generatora mikrofal na przyrost masy roślin

Table 1. Result of the analysis of the variance for the system with repetitive measurements; the impact of the year of tests and the power of the microwave generator on the increase of the mass of plants

Zmienne	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średnia kwadratów	Test F	p	Eta-kwadrat cząstkowe	Niecentralność	Moc obserwowana
Wyraz wolny	728,2429	1	728,2429	1505,452	0,0000	0,938297	1505,45	1,000000
Rok badań (1)	9,5557	2	4,7779	9,877	0,0001	0,166343	19,75	0,981356
Moc generatora (2)	24,9916	2	12,4958	25,832	0,0000	0,342907	51,66	0,999999
1*2	0,2043	4	0,0511	0,106	0,9803	0,004248	0,42	0,070847
Błąd	47,8900	99	0,4837					
Data pomiaru (3)	276,6894	14	19,7635	1338,276	0,0000	0,931120	18735,87	1,000000
3*1	3,9780	28	0,1421	9,620	0,0000	0,162726	269,37	1,000000
3*2	8,2028	28	0,2930	19,838	0,0000	0,286101	555,45	1,000000
3*1*2	0,1678	56	0,0030	0,203	1,0000	0,008130	11,36	0,263561
Błąd	20,4683	1386	0,0148					

Źródło: obliczenia własne autora

Tabela 2. Wynik testu sferyczności Mauchley'a
Table 2. Mauchly's sphericity test result

Zmienna	Wartość statystyki W	Chi-kwadrat	Stopnie swobody	Wartość prawdopodobieństwa testowego
Pomiar	0,0002	1877,180	104	0,00

Tabela 3. Wynik dostosowanego jednowymiarowego testu istotności uwzględniającego poprawki
Table 3. Result of adapted one-dimensional significance test taking into account corrections

Zmienne (jak w tab. 1)	Liczba stopni swobody df,		Wartości uwzględnionych poprawek												
	wartość testu F i		Geisser'a-Greenhouse'a				Huynh'a-Feldt'a				Ograniczenia dolnego				
	prawdopodobieństwa testowego p		ε		Dostosowane		ε		Dostosowane		ε		Dostosowane		
	df	p	df1	df2	p	df1	df2	p	df1	df2	p	df1	df2	p	
3	14	1338,276	0	0,1	1,2	123	0	0,1	1,4	134	0	0,1	1,0	99	0
3*1	28	9,620	0	0,1	2,5	123	0	0,1	2,7	134	0	0,1	2,0	99	0
3*2	28	19,838	0	0,1	2,5	123	0	0,1	2,7	134	0	0,1	2,0	99	0
3*1*2	56	0,203	1	0,1	5,1	123	1	0,1	5,4	134	1	0,1	4,0	99	0,9
Błąd	1386														

Tabela 4. Wynik testu NIR Fishera dla porównań wielokrotnych; wpływ mocy generatora mikrofal na średni plon biomasy roślin ziemniaka
Table 4. NIR Fisher's test result for multiple comparisons; the impact of microwave generator power on average potato plant biomass crop

Moc generatora	Wartości prawdopodobieństwa		Grupy homogeniczne						
	Srednia masa [g]	Moc generatora	1		2		3		
kontrola (1)	0,654 (1)	0,820 (2)	0,527 (3)	Srednia masa [g]		Srednia masa [g]		Srednia masa [g]	
100W (2)	0,0001	0,0033	0,0033	1000W	*	*	*	*	*
1000W (3)	0,0033	0,0000	0,0000	kontrola	0,654	*	*	*	*
				100W	0,820	*	*	*	*

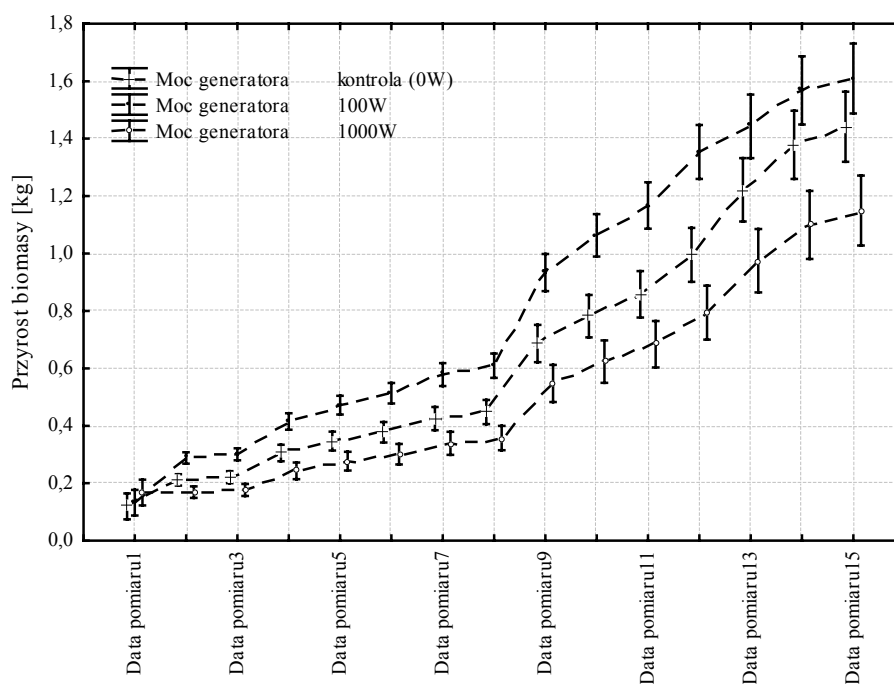
Źródło: obliczenia własne autora

Wyniki prezentowanego w niniejszej pracy doświadczenia jednoznacznie wskazują, że jeszcze napromieniowanie sadzeniaków ziemniaka dawkami jednostkowymi o wartości $31,2 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ powoduje większy, w porównaniu z próbą kontrolną, przyrost biomasy rośliny. Różnica w wynikach może być spowodowana różnym umiejscowieniem doświadczenia (warunki polowe i pod osłoną tunelu foliowego), zastosowaniem innego rodzaju generatora mikrofal (inny zakres mocy emitowania mikrofal) oraz tym, że w poprzednich badaniach [Jakubowski 2007] uwzględniono tylko jeden rok wegetacji roślin.

W trakcie procesów metabolicznych asymilaty w organizmie rośliny zostają rozmieszczone w pewnym szeregu akceptorów. Asymilaty, będące najogólniej substancjami pokarmowymi pochodzącymi z procesów fotosyntezy, docierają do akceptorów, które różnią się między sobą wielkością i odległością od donorów oraz właściwościami fizjologicznymi. Zdaniem Starck [2003] mechanizm dystrybucji asymilatów do akceptorów rośliny uwarunkowany jest ich aktywnością wzrostową, intensywnością oddychania oraz metabolizmem dostarczanych substancji i ich akumulacją. Jednocześnie Minchin i in. [1996] podkreśla, że transport do poszczególnych akceptorów jest zintegrowany z zaopatrzeniem wszystkich organów i ze sprawnością przepływu, importowanych głównie przez floem, substancji. Promieniowanie mikrofalowe działając na materiał biologiczny powoduje rozbijanie wiązań wodorowych wytworzonych między cząsteczkami wody. Wyzwolona w trakcie tego procesu energia powoduje ogrzanie materiału czego efektem może być denaturacja białek (również i enzymatycznych) i zwiększona przepuszczalność błon komórkowych lub energia ta może modulować tempo przemian biochemicznych - tym samym wpływając na metabolizm rośliny. Według badań Müller-Röber i in. [1992], Kavakli i in. [2000] oraz Fernie i in. [2002] w przypadku organów akumulujących skrobię, białka są zawsze substancjami towarzyszącymi. W białkach stanowiących substancje zapasowe dominują takie aminokwasy jak glutamina (odgrywająca kluczową rolę w metabolizmie azotu), asparagina i prolina. Aminokwasy te zlokalizowane są w strukturach endomembranowych jak endoplazmatyczne retikulum czy zmodyfikowanych wakuolach. Skrobia natomiast umiejscawia się amyloplastach organów spichrzowych. Zaznaczyć należy, że bezpośrednim substratem do syntezy skrobi jest ADP-glukoza a w dalszej kolejności AGP-aza (czyli ADP-glukozopyrofosforylaza) i syntazy skrobiowe. Badania prowadzone przez Van Voorthuysen i in. [2000], Rausch i in. [2001, 2004], Gordon-Weeks i in. [2003] oraz Żebrowską i in. [2007], dotyczące pobierania i transportu fosforanów w komórkach roślin, jednoznacznie wskazują na fakt, że procesy te ściśle związane są i uzależnione od tempa przemian energetycznych w organizmie. Wymienieni Autorzy podkreślają, że transport fosforu przez błonę komórkową musi odbywać się wbrew gradientowi stężeń a ujemnie naładowane jony fosforanowe muszą pokonać barierę ujemnego potencjału błony komórkowej. Z tego też względu transport fosforu w roślinie wymaga nakładu energii i zachodzi z udziałem transbłonowych transporterów białkowych. Badania te wskazują również na źródło pochodzenia energii niezbędnej do transportu związków fosforu. Energia ta, w transporcie pierwotnym, pochodzi z rozpadu ATP (adenozynotryfosforan) do ADP (adenozynodifosforan) co powoduje powstanie potencjału elektrochemicznego po stronie cytoplazmy w zakresie od 150 do 200 mV. ATP jest związkiem (wysokoenergetyczne wiązanie bezwodnikowe) przenoszącym energię w komórce przy czym nie jest on magazynowany lecz tworzony na bieżąco. Tak pojmowany transport jonowy organizmu, gdzie głównie energia z przemian biochemicznych decyduje o dynamice transportu, może wskazywać na fakt, że dostarczenie roślinie energii z zewnątrz w postaci promieniowania mikrofalowego, może wpłynąć na jej procesy fizjologiczne. Jeśli napromieniowanie mikrofalami modyfikuje procesy fizjologiczne rośliny

Kształtowanie się przyrostu biomasy...

ny ziemniaka to może również wpływać na przebieg cyklu Calvina-Bensona-Basshama w którym zużyte zostają produkty reakcji świetlnych fotosyntezy między innymi również i ATP.



Źródło: obliczenia własne autora

Rys. 1. Graficzna interpretacja interakcji daty wykonania pomiaru i mocy urządzenia generującego mikrofały w odniesieniu do przyrostu biomasy rośliny ziemniaka (pionowe słupki oznaczają 95% przedziału ufności)

Fig. 1. Graphic interpretation of the interaction of the date of the measurement and the power of the equipment generating microwaves with reference to the increase of the biomass of the potato plant (vertical columns mean 95% of the confidence interval)

Wnioski

1. Przyjęta w doświadczeniu zmienna niezależna (moc generatora mikrofał) istotnie modyfikuje przyrost biomasy roślin ziemniaka odmiany Felka Bona.
2. Napromieniowanie sadzianek ziemniaka mikrofałami emitowanymi z generatora działającego z mocą 100 W powoduje zwiększenie przyrostu biomasy roślin potomnych.
3. Napromieniowanie sadzianek ziemniaka mikrofałami emitowanymi z generatora działającego z mocą 1000 W powoduje zmniejszenie przyrostu biomasy roślin potomnych.

Bibliografia

- Ahloowalia B.S., Maluszyński M.** 2001. Induced mutations – a new paradigm in plant breeding. *Euphytica* 118. s. 167-173.
- Allen E., Scott R.** 1980. An analysis of growth of the potato crop. *J. Agric. Sci., Camb.* nr 94. s. 583-606.
- Cagalniceanu G., Radu M., Fologea D., Brezeanu A.** 2000. Short high – voltage pulsem promote adventitious shoot differentiation from intact tobacco seedlings. *Electro And Magnetobiology.* s. 19.
- Fernie A.R., Willmitzer L., Trethewey R.N.** 2002. Sucrose to starch: a transition in molecular plant physiology. *Trends in Plant Science* nr 7. s. 35-41.
- Gawrońska H.** 1998. Wytwarzanie i dystrybucja biomasy u ziemniaka *Solanum tuberosum* L. w zróżnicowanych warunkach środowiska. Fundacja - Rozwój SGGW. Warszawa. s. 5-21.
- Gładyszewska B., Koper R.** 2002. Ustalanie dawek promieniowania laserowego w procesie biostymulacji nasion. *Acta Agrophysica* 62. s. 15-23.
- Gordon-Weeks R., Tong Y., Davies T., Leggewie G.** 2003. Restricted spatial expression of a highaffinity phosphate transporter in potato roots. *J. Cell Sci.* nr 116. s. 3135-3144.
- Haverkort A., Harris P.** 1986. Conversion coefficient between intercepted solar radiation and tuber yields of potato crops under tropical highlands conditions. *Potato Res.* nr 25. s. 529-533.
- Jakubowski T.** 2007. Wpływ mikrofalowej stymulacji sadzeniaków ziemniaka na wzrost i rozwój roślin potomnych. *Inżynieria Rolnicza*.6(94). s. 49-56.
- Jakubowski T.** 2009. Reakcja roślin ziemniaka napromieniowanych mikrofalami na symulowany stres suszy. *Inżynieria Rolnicza* 8(117). s. 15-22.
- Jakubowski T.** 2009. Modelowanie przyrostu temperatury bulwy ziemniaka w trakcie jej mikrofalowego ogrzewania. *Inżynieria Rolnicza* 9(118). s. 15-22.
- Kavakli H.I., Slattery C.J., Ito H., Okita T.W.** 2000. The conversion of carbon and nitrogen into starch and proteins in developing storage organs: an overview. *Aust. J. Plant Physiol* nr 27. s. 561-570.
- Khurana S., McLaren J.** 1982. The influence of leaf area, light interception and season on potato growth and yield. *Potato Res.* nr 25. s. 329-342.
- Mazurczyk W.** 1995. Modelowanie potencjalnej produktywności oraz czynników kształtujących nagromadzenie biomasy i plonu bulw w łanach ziemniaka. Fundacja - Rozwój SGGW. Warszawa. s. 5-24.
- Miflin B.** 2000. Crop improvement in the 21st century. *J. Exp. Bot.* 51. s. 1-8.
- Starck Z.** 2003. Transport i dystrybucja substancji pokarmowych w roślinach. Wydawnictwo SGGW. Warszawa. s. 299.
- Minchin P.E.H., Thorpe M.R.** 1996. What determines carbon partitioning between competing sinks? *J. Exp. Bot.* nr 47. s. 1293-1296.
- Müller-Röber B., Sonnewald U., Willmitzer L.** 1992. Inhibition of the ADP-glucose pyrophosphorylase in transgenic potatoes leads to sugar-storing tubers and influences tuber formation and expression of tuber storage proteins genes. *EMBO Journal* nr 11. s. 1229-1238.
- Olchowik G., Gawda H.** 2002. Influence of microwave radiation on germination capacity of flax seeds. *Acta Agrophysica* 62. s. 63-68.
- Pietruszewski S.** 2003. Magnetyczna i elektryczna biostymulacja nasion roślin uprawnych. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Oddziaływanie Pól Elektromagnetycznych na Środowisko Rolnicze”. AGROLASER, Lublin, 8-10.09.2003. Maszynopis.
- Rausch C., Daram P., Brunner S., Jansa J., Lalo M., Leggewie G., Amrhein N., Bucher M.** 2001. A phosphate transporter expressed in arbuscule-containing cells in potato. *Nature* nr 414. s. 462-466.

- Rausch C., Zimmermann P., Amrhein N., Bucher M.** 2004. Expression analysis suggests novel roles for the plastidic phosphate transporter Pht2;1 in auto- and heterotrophic tissues in potato and Arabidopsis. *Plant J.* nr 39. s. 13-28.
- Stanisz A.** 2006. *Statystyki podstawowe.* Wydawnictwo StatSoft. Kraków. s. 229.
- Stanisz A.** 2007. *Modele liniowe i nieliniowe.* Wydawnictwo StatSoft. Kraków. s. 517-575.
- Stašelis A., Duchowski P., Brazaityte A.** 2003. The impact of electromagnetic fields on morphogenesis and physiological indices of tomato. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa, „Oddziaływanie Pól Elektromagnetycznych na Środowisko Rolnicze”. AGROLASER, Lublin, 8-10.09.2003. Maszynopis.
- Taiz L., Zeiger E.** 2002. *Plant physiology.* Red. L. Taiz, E. Zeiger. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sutherland. s. 46-71.
- Van Voorthuysen T, Regierer B, Springer F, Dijkemac, Vreugdenhil D, Kossmann J.** 2000. Introduction of polyphosphate as a novel phosphate pool in the chloroplast of transgenic potato plants modifies carbohydrate partitioning. *J. Biotechnol* nr 77. s. 65-80.
- Żebrowska E., Ciereszko I.** 2007. Pobieranie i transport fosforanów w komórkach roślin. *Postępy biologii komórki*, t. 34, nr 2. s. 283-298.

FORMATION OF THE INCREASE IN BIOMASS OF POTATO PLANTS IRRADIATED WITH MICROWAVES

Abstract. The work presents the results of tests of the increase of biomass during the vegetation period for potato plants grown from seed-potatoes irradiated with microwaves. In the experiment, a very early variety of Felka Bona was used, whose seed-potatoes were irradiated with microwaves. It was found that the factors assumed in the experiment had a significant impact on the increase of the biomass of the potato plant.

Key words: potato, biomass, microwave radiation

Adres do korespondencji:

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