

WYTRZYMAŁOŚĆ BIOLOGICZNA SKÓRKI BULW ZIEMNIAKA NAPROMIENIOWANYCH MIKROFALAMI

Tomasz Jakubowski

Katedra Techniki Rolno-Spożywczej, Uniwersytet Rolniczy
ul. Balicka 116 B, 30-149 Kraków
e-mail: tjakubowski@ar.krakow.pl

Streszczenie. Celem pracy było określenie zmian w wartości siły przebicia skórki bulw ziemniaka napromieniowanych mikrofalami w zależności od stopnia ich dojrzałości. Doświadczenie prowadzono w latach 2005-2007. Uprawiano pod osłoną tunelu foliowego trzy bardzo wczesne odmiany ziemniaków: Felka Bona, Rosara i Velox. Bulwy napromieniowano mikrofalami o częstotliwości 2,45 GHz (czas ekspozycji 10 i 15 s). Zaobserwowano pozytywny wpływ napromieniowania bulw, które pobrano do badań w fazie niepełnej dojrzałości, na wartości siły przebicia odpowiadającej granicy jej wytrzymałości biologicznej.

Słowa kluczowe: mikrofałe, bulwa ziemniaka, epiderma, peryderma, uszkodzenia

WSTĘP

Problem uszkodzeń mechanicznych bulw ziemniaka został szeroko omówione m. in. w pracach Marksa i in. (1981), Alzad'ua-Morales i in. (1992), Molema (1999), Konstankiewicz i in. (2001) oraz Sadowskiej i in. (2008). Rzeczywiste warunki, w jakich zachodzą procesy uszkodzeń bulw są bardzo zmienne i trudne do opisu. Przyjmuje się, że mechaniczne uszkodzenia bulw (zewnętrzne i wewnętrzne) są rezultatem nacisku, zderzenia (uderzenia), bądź spadku występującego w trakcie trwania określonego procesu roboczego (zbiór, transport, separacja, składowanie). Jedną z metod określania podatności bulwy ziemniaka na uszkodzenia mechaniczne jest kontrolowane przebijanie jej skórki w warunkach laboratoryjnych przy użyciu penetrometru statyczno-sprężynowego. Zdaniem Marksa (1986) wartość siły, która uszkadza skórkę bulwy jest zależna m. in. od: czynników agrotechnicznych, cech odmianowych, warunków środowiskowych

oraz stopnia dojrzałości bulwy. W dostępnej literaturze brak jest informacji na temat wpływu promieniowania mikrofalowego na siłę przebicia skórki bulwy ziemniaka nie w pełni dojrzałej. Niedojrzałe technicznie bulwy ziemniaka pokryte są nie w pełni wykształconą skórką zwaną epidermą, bulwy takie mogą się pojawiać przy uprawie ziemniaków na wczesny zbiór (Roztropowicz 1977).

Celem pracy było określenie zmian wartości siły przebicia skórki bulw ziemniaka napromieniowanych mikrofalami w zależności od stopnia ich dojrzałości.

MATERIAŁ I METODY

W doświadczeniu prowadzonym w latach 2005-2007 wykorzystano trzy bardzo wczesne odmiany ziemniaków Felka Bona, Rosara i Velox. Rośliny uprawiano w tunelu foliowym zgodnie z wytycznymi podanymi przez Lutomirską (1999). Materiał do badań, w liczbie 35 sztuk dla każdej kombinacji doświadczenia, pobrano, w trzech etapach, wg schematu przedstawionego w tabeli 1. W doborze materiału kierowano się jednorodnością masy bulw (35-55 g). Dane zawarte w tabeli 2 wskazują na małą (poniżej 20%) zmienność masy bulw w poszczególnych latach badań i pomiędzy odmianami ziemniaków.

Tabela 1. Układ doświadczenia

Table 1. Experimental design schematic

Symbol etapu doświadczenia Symbol of test stage	Charakterystyka etapu doświadczenia Characteristic of test stage	Moc urządzenia i czas ekspozycji Power and time of exposure	Odmiany ziemniaka Potato variety	Liczba bulw w każdym etapie doświadczenia Number of tubers in each test stage
E₁	Bulwy pobrane po 75 dniach wegetacji Tubers after 75 days of vegetation			
E₂	Bulwy pobrane po 104 dniach wegetacji Tubers after 104 days of vegetation	100 W i 10 s 100 W i 15 s 0 W i 0 s	Felka Bona Rosara Velox	315
E₃	Bulwy pobrane po 104 dniach wegetacji i przechowywane przez 30 dni Tubers after 104 days of vegetation and 30 days of storage			
Łączna liczba bulw wykorzystanych w doświadczeniu w 1 roku badawczym Total number of tubers used in test				945

Tabela 2. Charakterystyka bulw ziemniaka użytych w doświadczeniu
Table 2. Characteristic of potato tubers used in test

Statystyki opisowe		Rok badań Year	Odmiana ziemniaka – Potato variety		
			Felka Bona	Rosara	Velox
Masa bulw w próbce Mass of tubers in sample (g)	Średnia Medium	2005	45,1	45,0	45,0
		2006	44,8	44,9	45,1
		2007	45,1	45,1	44,9
	Maksymalna Maximum	2005	55,0	54,6	55,0
		2006	54,5	54,8	54,6
		2007	54,6	54,4	54,3
	Minimalna Minimum	2005	35,2	35,5	35,0
		2006	35,1	35,2	35,7
		2007	35,6	35,8	35,5
Odchylenie standardowe Standard deviation (g)	2005	6,1	2,2	5,4	
	2006	4,2	4,6	7,8	
	2007	8,3	5,8	3,4	
Zmienność Variation (%)	2005	13,5	4,9	12,0	
	2006	9,4	10,2	17,3	
	2007	18,4	12,9	7,6	

W doświadczeniu wykorzystano urządzenie wyposażone w precyzyjny wyłącznik czasowy, generujące promieniowanie mikrofalowe o częstotliwości 2,45 GHz. Bezpośrednio po zbiorze bulwy napromieniowano mikrofalami w czasie 10 lub 15 s a następnie określono wielkość siły przebiccia skórki bulwy ziemniaka w etapach E₁ (pobrane po 75 dniach wegetacji) i E₂ (pobrane po 104 dniach wegetacji) a w etapie E₃ po 30 dniowym okresie przechowywania w chłodni.

W doborze mocy urządzenia i czasów ekspozycji bulw ziemniaka w polu mikrofalowym kierowano się wynikami wcześniejszych badań dotyczących wpływu napromieniowania bulw mikrofalami na wskaźniki oceny przechowalności (Marks i in. 2005ab, Jakubowski 2008b). Dawka promieniowania mikrofalowego jaką otrzymały bulwy ziemniaka zawierała się w przedziale od 1000 do 1500 J co po uwzględnieniu masy bulw dawało jednostkową dawkę promieniowania mikrofalowego w zakresie około 18-43 J·g⁻¹. Okres przechowywania bulw w etapie E₃ (30 dni) przyjęto za Wieczorem i in. (1977) wg którego, bulwy dojrzewają w okresie od drugiego do czwartego tygodnia po zbiorze.

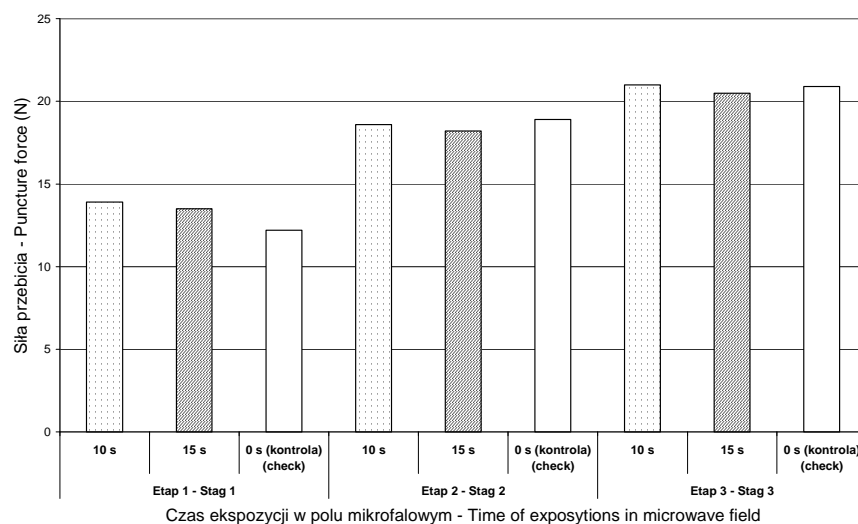
Badania wytrzymałości bulw ziemniaka na obciążenia mechaniczne prowadzone były w warunkach laboratoryjnych. Próbkę obciążano przy użyciu penetrometru statyczno-sprężynowego, aż do momentu jej uszkodzenia przez walcowy

sworzeń wciskany w miąższ. Nacisk na bulwę przenoszony był poprzez sprężynę, której ugięcie było proporcjonalne do wywieranego nacisku. Miernikiem odporności była siła przebiccia skórki i wciśnięcia sworznia w głąb miąższu bulwy. Wartości liczbowe uzyskane w trakcie pomiarów penetrometrem przekształcono przy użyciu wzorów opisanych w pracach Marksa i in. (1981) oraz Sobola (2003, 2006) w wartości odzwierciedlające siłę przebiccia odpowiadającą granicy wytrzymałości biologicznej skórki bulwy ziemniaka.

Wyniki badań poddano analizie wariancji z wykorzystaniem pakietu STATISTICA 8. Istotność różnic testowano na poziomie $\alpha = 0,05$. Dla określenia jakościowego wpływu zmiennych niezależnych na rok badań, wartość siły przebiccia oraz czas napromieniowania bulwy wykonano test analizy wariancji w klasyfikacji wielokrotnej z testem Duncan'a.

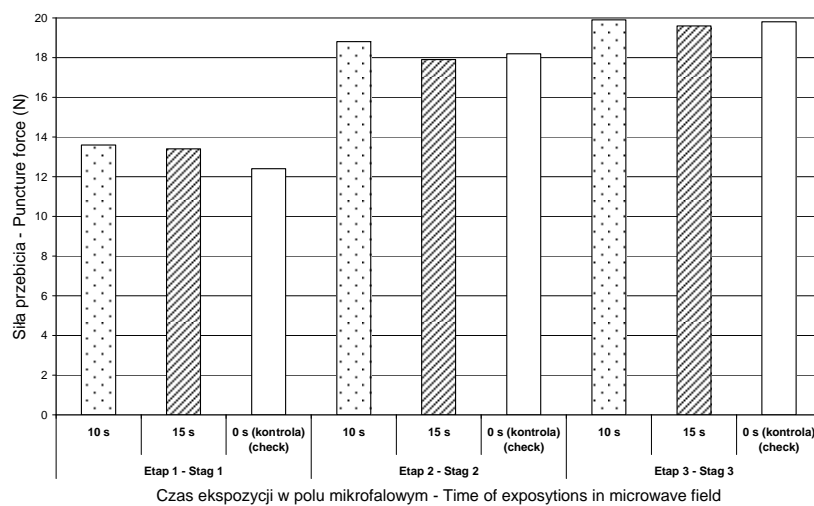
WYNIKI I DYSKUSJA

Na rysunkach 1-3 zobrazowano różnice w wartości siły przebiccia skórki bulwy ziemniaka badanych odmian w zależności od stopnia dojrzałości bulwy i czasu ich napromieniowania w polu mikrofalowym. Nie wykazano istotnego wpływu roku badań na wyniki doświadczenia co pozwoliło na całościową (z trzyletniego okresu badawczego) analizę zebranego materiału. Analiza wariancji w klasyfikacji wielokrotnej wskazała na statystycznie istotny wpływ dojrzałości bulw ziemniaka odmian Felka Bona i Velox oraz czasu ekspozycji w polu mikrofalowym na wartość siły przebiccia skórki. Przeprowadzony test Duncan'a wykazał istnienie grup jednorodnych między bulwami ziemniaków odmian Felka Bona i Velox. W części doświadczenia dla której bulwy do badań pobrano w fazie niepełnej dojrzałości (po 75 dniach od chwili posadzenia) stwierdzono wyższe wartości siły przebiccia skórki w odniesieniu do próby kontrolnej dla wszystkich badanych odmianach i czasów ekspozycji. Jednakże różnice te były statystycznie istotne jedynie w przypadku odmiany ziemniaków Felka Bona i Velox. Napromieniowanie mikrofalami bulw ziemniaków odmiany Felka Bona spowodowało zwiększenie wartości siły przebiccia skórki w stosunku do próby kontrolnej; 13,9% w przypadku 10 s czasu ekspozycji i 10,7% w przypadku 15 s czasu ekspozycji (próba kontrolna = 100%). Napromieniowanie mikrofalami bulw ziemniaków odmiany Velox spowodowało zwiększenie wartości siły przebiccia skórki w stosunku do próby kontrolnej; 9,7% w przypadku 10 s czasu ekspozycji i 8,1% w przypadku 15 s czasu ekspozycji (próba kontrolna = 100%). W obydwu przypadkach odmian ziemniaków czas ekspozycji w polu mikrofalowym nie modyfikował istotnie wartości siły. W pozostałych kombinacjach doświadczenia nie stwierdzono istotnego wpływu napromieniowania bulw mikrofalami na badane zmienne.



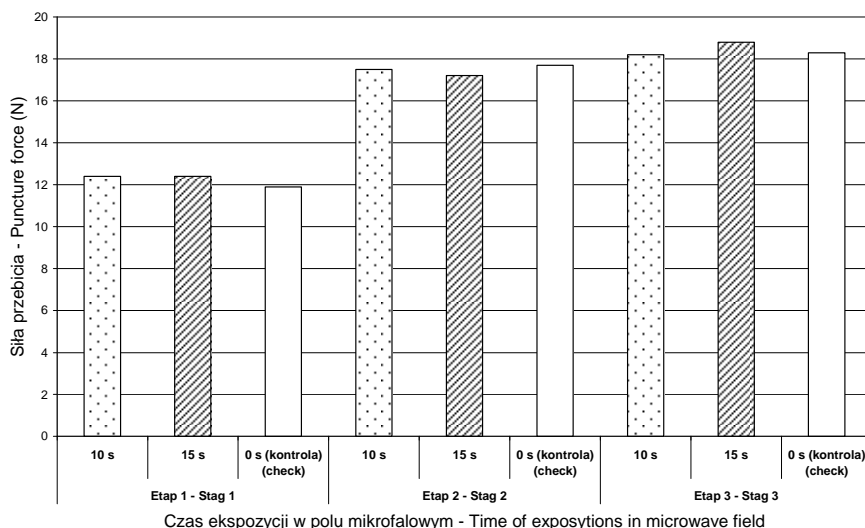
Rys. 1. Zależność między siłą przebicia skórki a czasem ekspozycji w polu mikrofalowym bulw ziemniaka odmiany Felka Bona w kolejnych etapach doświadczenia

Fig. 1. Relationship between force at skin puncture and time of exposure to microwave field for potato tubers cv. Felka Bona in successive stages of test



Rys. 2. Zależność między siłą przebicia skórki a czasem ekspozycji w polu mikrofalowym bulw ziemniaka odmiany Velox w kolejnych etapach doświadczenia

Fig. 2 Relationship between force at skin puncture skin and time of exposure to microwave field for potato tubers cv. Velox in successive stages of test



Rys. 3. Zależność między siłą przebicia skórki a czasem ekspozycji w polu mikrofalowym bulw ziemniaka odmiany Rosara w kolejnych etapach doświadczenia

Fig. 3. Relationship between force at skin puncture skin and time of exposure to microwave field for potato tubers cv. Rosara in successive stages of test

Zagadnienie wpływu promieniowania mikrofalowego na podatność na uszkodzenia bulw ziemniaka odmiany Irga było poruszane w pracy Marksa i in. (2003). Marks (2003) stwierdził zależność między okresem, w którym przeprowadzono stymulację mikrofalową sadzoniaków a wartością wskaźnika mechanicznych uszkodzeń. Badania tego samego Autora i in. (2006) w których wykorzystano odmiany ziemniaków Gracja i Ibis nie wykazały istotnych zależności między dawką promieniowania mikrofalowego (w przedziale $6-176 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$) a wytrzymałością bulwy na obciążenia statyczne mierzone siłą przebicia skórki odpowiadającej granicy jej wytrzymałości biologicznej. Jednocześnie kolejne badania przeprowadzone przez Marksa i in. (2008) z zastosowaniem jednostkowych dawek promieniowania mikrofalowego rzędu $106-6857 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ względem bulw ziemniaka odmiany Felka Bona wykazały istotną korelację między promieniowaniem mikrofalowym a wytrzymałością bulw na obciążenia statyczne, nie wykazano natomiast takiego związku z wielkością ugięcia bezwzględnego skórki bulwy. Nie wykazano również istotnego wpływu promieniowania mikrofalowego na bulwy ziemniaka odmian Velox, Felka Bona i Vineta (będących w fazie pełnej dojrzałości technicznej) po 5 miesięcznym okresie przechowywania (Jakubowski 2008). Podobne badania prowadził Warchalewski i in. (2007) oceniając działanie ogrzewania mikrofalowego na mikrostrukturę ziarniaków pszenicy odmiany Begra. Autor ten

nie stwierdził wyraźnego wpływu na mikrostrukturę ziarniaków, odnotowano jednak mniejszą długość i jednocześnie większą szerokość i grubość ścian komórek epidermy zewnętrznej ziarna. Informacje zawarte w przedstawionej literaturze wskazują, że w badaniach wykorzystywano bulwy ziemniaka w pełnej dojrzałości technicznej a więc z wykształconą perydermą (warstwą korkową). W badaniach prowadzonych przez autora wykorzystano m. in. bulwy ziemniaka będące w fazie niepełnej dojrzałości pokryte pierwotną tkanką okrywającą. Epiderma jest pierwotną tkanką okrywającą charakterystyczną dla łodyg roślin. Bulwa ziemniaka to bulwa pędowa czyli przekształcona łodyga, która powstaje jako zgrubienie na końcu stolonu w związku z powyższym ma podobną budowę jak łodyga. Komórki epidermy mają zwykle zewnętrzne ścianki zgrubiałe i pokryte kutikulą. Epiderma bulwy ziemniaka umożliwia wymianę gazową (CO₂, tlen, para wodna) oraz pełni funkcje ochronne (uszkodzenia mechaniczne, utrata wody czy ochrona przed przegrzaniem lub wyziębieniem). W miarę dojrzewania pokrywa się kutikulą co prowadzi do przekształcania się pierwotnej tkanki okrywającej w tkankę wtórną – perydermę. Właściwą rolę ochronną pełni w perydermie korek, czyli tkanka zbudowana z martwych komórek o ścianach wysyconych suberyną, hydrofobową substancją złożoną z długołańcuchowych kwasów tłuszczowych oraz ich estrów z alkoholami alifatycznymi. Suberyna występuje w ścianach komórek korka i wchodzi w skład pasemek Caspary'ego w endodermie – pełni funkcję wzmacniającą i termoizolacyjną (Wyrzykiewicz-Raszewska i in. 2008). Istnieje prawdopodobieństwo, że napromieniowanie bulw ziemniaka będących w fazie niepełnej dojrzałości wzmaga produkcję suberyny i przyspiesza proces transformacji epidermy do postaci korka. Należy również mieć na uwadze, że promieniowanie mikrofalowe o częstotliwości 2,45 GHz daje efekt termiczny i związane jest z ubytkami wody z bulwy ziemniaka (Jakubowski 2008a), również i ze skórki, co może powodować zmniejszenie jej sprężystości.

WNIOSKI

1. Wszystkie badane odmiany ziemniaków, których bulwy do badań pobrano w fazie niepełnej dojrzałości, zareagowały pozytywnie (zwiększeniem wartości siły przebicia skórki bulwy odpowiadającej granicy jej wytrzymałości biologicznej) na napromieniowanie mikrofalami.
2. Istotne różnice co do wartości siły przebicia skórki bulwy odpowiadającej granicy jej wytrzymałości biologicznej wykazano dla odmian ziemniaków Felka Bona i Velox, których bulwy do badań pobrano w fazie niepełnej dojrzałości, bez względu na czas ekspozycji w polu mikrofalowym.

3. Przyjęty w doświadczeniu czas ekspozycji bulw ziemniaka w polu mikrofalowym nie modyfikował istotnie wartości siły przebicia skórki bulwy odpowiadającej granicy jej wytrzymałości biologicznej.

PIŚMIENNICTWO

- Alzad'ua-Morales A., Bourne M.C., Shomer I., 1992. Cultivar, specific gravity and location in tuber affect puncture force of raw potatoes. *J. Food Sci.*, 57, 1353-1356.
- Jakubowski T., 2008a. Wpływ pola mikrofalowego na dynamikę zmian masy temperatury bulwy ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 6(104), 63-69.
- Jakubowski T., 2008b. Wpływ promieniowania mikrofalowego na wybrane wskaźniki oceny przechowalniczej bulw ziemniaka. *Acta Agrophysica*, 12(2), 357-366.
- Konstankiewicz K., Pawlak K., Zdunek A., 2001. Influence of structural parameters of potato tuber cells on their mechanical properties. *Int. Agrophysics*, 4, 243-246.
- Lutomirska B., 1999. Produkcja ziemniaków w tunelu foliowym. *Ziemniak Polski*, 4, 4-9.
- Marks N., Biel M., Krzysztofik B., 1981. Określenie wpływu wielkości i ciężaru bulw na kształtowanie się wytrzymałości mechanicznej bulw wybranych odmian ziemniaka. *Roczniki Nauk Rolniczych*, C-75-1, 109-124.
- Marks N., 1986. Wpływ wybranych czynników na powstawanie mechanicznych uszkodzeń bulw ziemniaka. *Rozprawa habilitacyjna*, nr 107, Zesz. Nauk., AR w Krakowie, 5-19.
- Marks N., Jakubowski T. 2005a. Wpływ promieniowania mikrofalowego na trwałość przechowalniczą bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 6(81), 57-64.
- Marks N., Lipiec J., Jakubowski T., 2005b. Ocena przydatności metod fizycznych do zwalczania przechowalniczych chorób bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 7 (67), 169-175.
- Marks N., Jakubowski T., 2006. Wpływ promieniowania mikrofalowego na wytrzymałość statyczną bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 13 (88), 365-375
- Marks N., Jakubowski T., 2008. Określenie zależności pomiędzy odpornością bulwy ziemniaka na uszkodzenia mechaniczne a wielkością dawki promieniowania mikrofalowego. *Inżynieria Rolnicza*, 1 (99), 283-290
- Molema G.J., 1999. Mechanical force and subcutaneous tissue discolouration in potato. PhD thesis, Wageningen University, Netherlands, 1-117.
- Roztropowicz S., Kubicki K., 1977. Ziemniaki wczesne. *PWRiL*, 84
- Sadowska J., Fornal J., Zgórska K., 2008. The distribution of mechanical resistance in potato tuber tissues. *Postharvest Biology and Technology*, Volume 48, Issue 1, 70-76.
- Sobol Z., 2003. Wpływ wybranych czynników na niektóre właściwości mechaniczne bulw ziemniaka. *Acta Agrophysica* 83, 163-176.
- Sobol Z. 2006. Wpływ wybranych czynników na wartość odkształceń względnych i naprężeń niszczących bulwy ziemniaka. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 511, cz. II, 397-405.
- Warchalewski J., R., Dolińska R., Błaszczak W., 2007. Analiza mikroskopowa ziarna pszenicy dwu pokoleń wyhodowanych z nasion ogrzanych mikrofalami. *Acta Agrophysica*, 10(3), 727-737.
- Wieczer A., Gonczarik M., 1977. Fizjologia i biochemia ziemniaka. *PWRiL*, Warszawa.
- Wyrzykiewicz-Raszewska M., Kuświk H., 2008. Komórka roślinna. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

**BIOLOGICAL STRENGTH OF SKIN OF POTATO TUBER EXPOSED
TO MICROWAVE RADIATION**

Tomasz Jakubowski

Agricultural and Food Technology Section, Agricultural University
ul. Balicka 116 B, 30-149 Kraków
e-mail: tjakubowski@ar.krakow.pl

Abstract. The purpose of the work was determination of changes in the value of puncture force of the skin of potato tubers exposed to microwave radiation dependent to their maturity. The experiment was conducted in the years 2005-2007 under cover of foil tunnel. In experimental material used were three very early potato varieties: Felka Bona, Velox and Rosara. Tubers were exposed to microwaves of 2.45 GHz for 10 and 15 sec. of exposure. The author observed a positive influence of microwave irradiation of tubers that were taken for the experiment at the stage of incomplete maturity on potato tuber skin puncture force corresponding to its biological strength limit.

Keywords: microwaves, potato tubers, epidermis, peridermis, damage