

ZMIENNOŚĆ PARAMETRÓW STRUKTURY KOMÓRKOWEJ W BULWIE ZIEMNIAKA*

Marek Gancarz, Krystyna Konstankiewicz, Kamil Pawlak

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: marko@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań zmienności parametrów struktury komórkowej w bulwach 5 odmian ziemniaka. Próbki pobierano w 5 miejscach w każdej bulwie (przystolon, bok, wierzchołek, rdzeń wewnętrzny i zewnętrzny). Do mikroskopowych obserwacji struktury komórkowej wykorzystywano optyczny mikroskop konfokalny „CONFOCAL 2002” (TSRLM). Badano próbki w stanie naturalnym, a uzyskiwany obraz, dzięki metodzie składania, zawierał wystarczającą liczbę komórek do analizy parametrów struktury. Dla płaskich przekrojów próbek uzyskano rozkłady geometrycznych parametrów struktury związanych z: 1) wielkością komórek: powierzchnia (A), obwód (P), średnice Fereta (F_{max} , F_{min}) oraz 2) kształtem komórek: stosunek średnic Fereta, wydłużenie – E (stosunek różnicy maksymalnej i minimalnej średnicy elipsy wpisanej w komórkę do sumy tych średnic), zwartości – C ($16 A/P^2$). Porównano rozkłady wszystkich mierzonych parametrów struktury dla badanych miejsc pobrania próbek w bulwie. Stwierdzono, że mikrostruktura jest cechą charakterystyczną każdej odmiany i zależy od miejsca w bulwie.

Słowa kluczowe: parametry struktury komórkowej w bulwie ziemniaka, mikroskop konfokalny, analiza obrazu

WSTĘP

Lepsze wykorzystanie produktów roślinnych oraz poprawa ich jakości to główne cele współczesnego rolnictwa. Na jakość surowca i przydatność do przetwórstwa wpływa m.in. jednorodność i stabilność cech – morfologicznych, chemicznych, organoleptycznych, fizycznych – także mikrostruktury. Struktura należy do najważniejszych cech materiałowych gdyż bezpośrednio wpływa na inne właściwości ośrodka. Badania wykazują, że mikrostruktura tkanki roślinnej zależy m.in., od odmiany,

*Praca prezentowana i opublikowana w ramach aktywności Centrum Doskonałości AGROPHYSICS (Contract No.: QLAM-2001-00428) 5 Programu Ramowego UE.

rodzaju tkanki, terminu zbioru, przechowywania, ulega zmianom podczas różnych oddziaływań (mechanicznych, termicznych) [1,2,3,11,12,19,20].

W przypadku materiałów roślinnych o dużej zawartości wody (warzywa, owoce) jest to struktura komórkowa o wysokim stopniu złożoności – ma cechy ośrodka dyskretnego z relatywnie dużymi rozmiarami nieciągłości, stochastycznego i metamorficznego [6,9,10]. Takie materiały są szczególnie podatne na różnego rodzaju oddziaływania, np. mechaniczne, termiczne, wywołujące zmiany struktury a w ich następstwie cały szereg procesów prowadzących do obniżania jakości i psucia się materiału [4,5,8,18].

Procesy fizyczne, jak np. pękanie w oddziaływaniach mechanicznych czy skurcz w wyniku suszenia, są inicjowane na poziomie komórki. Wymaga to poznania budowy strukturalnej tkanki roślinnej w całym obiekcie, a więc rozmieszczenia, kształtu i wymiaru komórek. Wcześniejsze badania wykazały m.in., że wielkość komórek ma wpływ na naprężenia rozciągające w ich ścianach i procesy pękania w całej strukturze. Komórki większe są narażone na zniszczenia w pierwszej kolejności a rozwój procesu pękania zależy od rozkładu ich wielkości [7,15,16,17]. Z tego powodu szczególnie ważne jest poznanie zmienności struktury komórkowej w całym obiekcie i uwzględniania tej cechy w dalszych ocenach badanego materiału, pod kątem jego jakości, a także najlepszego wykorzystania i odpowiedniego dobrania parametrów w stosowanych procesach technologicznych.

W prowadzonych od wielu lat badaniach za wzorcowy obiekt wybrano ziemniak *Solanum tuberosum* L., co z jednej strony można uzasadnić tym, że posiada dosyć duże komórki o słabej błonie, a więc łatwo podatne na uszkodzenia, a z drugiej strony praktycznym problemem wynikającym z potrzeby zmniejszenia strat w produkcji. To właśnie z powodu uszkodzeń zewnętrznych i wewnętrznych znaczna część plonów ziemniaków nie nadaje się do wykorzystania przemysłowego. Każde działania ograniczające straty są cenne a szczególnie te, które pozwalają na rozpoznanie zjawiska i skuteczne im zapobieganie. Należy podkreślić, że Polska zajmuje jedno z czołowych miejsc w światowej produkcji ziemniaka, jest on popularnym składnikiem naszej diety, powszechnie stosowany jako pasza, ale ciągle zbyt mało wykorzystywany jako surowiec przemysłowy. Nowoczesne przetwórstwo wymaga surowca o wysokiej jakości, jednorodności i stabilności cech, spełniającego określone warunki do ukierunkowanego zagospodarowania [4,21].

Celem podjętych badań było określenie zmienności parametrów komórkowej struktury tkanki miękkiszowej w bulwie ziemniaka. Porównano parametry struktury komórkowej na podstawie analizy mikroskopowych obrazów płaskich przekrojów próbek pobranych z pięciu miejsc w bulwie, dla pięciu odmian pochodzących z tego samego sezonu, jednakowych warunków uprawy oraz przechowywania.

Badania prowadzono dla próbek w stanie naturalnym, bez wstępnej preparacji, przy wykorzystaniu optycznego mikroskopu konfokalnego. Ilościową analizę obrazów mikroskopowych, płaskich przekrojów struktury komórkowej, przeprowadzono według wcześniej opracowanej metodyki badawczej [14].

MATERIAŁ I METODY

Do badań użyto 5 odmian ziemniaka: Agria (jadalna, średnio-wczesna), Danusia (jadalna, średnio-późna), Kuba (skrobiowa, średnio-wczesna), Saturna (skrobiowa, średnio-późna) i Triada (jadalna, średnio-wczesna), pochodzących ze zbioru 2002 roku, przeprowadzonego w Zakładzie Przetwórstwa i Przechowalnictwa Ziemniaka Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Jadwisinie.

Wszystkie odmiany, o różnym przeznaczeniu, uprawiano na tej samej glebie i przy jednakowym nawożeniu, a zbiór przeprowadzano w fazie pełnej dojrzałości zbiorczej. Najwyższą zawartością suchej masy cechowała się odmiana Kuba, a najmniejszą odmiana Agria. Średnia zawartość skrobi była największa dla odmiany Saturna natomiast najmniejsza dla odmiany Agria (tab. 1).

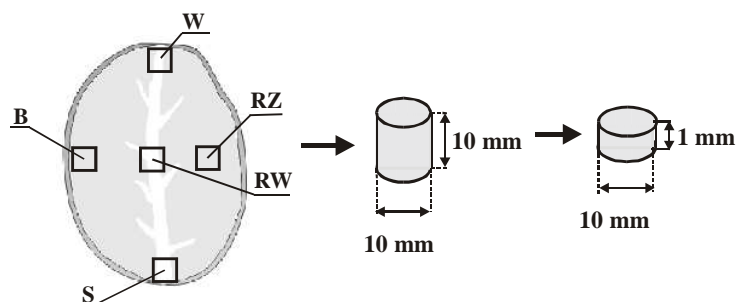
Tabela 1. Zawartości suchej masy i skrobi badanych odmian
Table 1. Dry mass and starch contents in studied varieties

Odmiana Variety	Zawartość suchej masy Dry mass content (%)	Zawartość skrobi Starch content (%)
Agria	18,84	12,96
Danusia	21,20	14,31
Kuba	25,49	15,81
Saturna	24,48	16,60
Triada	21,41	13,87

Materiał badawczy bezpośrednio po zbiorze przechowywano w kontrolowanych warunkach temperatury (6°C) i wilgotności względnej powietrza (90-95%). W badaniach każdą odmianę reprezentowały bulwy średniej wielkości i bez zewnętrznych uszkodzeń. Badania laboratoryjne prowadzono w stałej temperaturze pokojowej (~20°C) i przy wilgotności względnej powietrza (50-60%).

Próbki do badań, dla każdej odmiany w 5 powtórzeniach, pobierano z 5 obszarów w bulwie: 1) wierzchołkowego (W), bocznego (B), przystolonowego (P) – pobierane w kierunku prostopadłym do powierzchni bulwy, 2) rdzenia wewnętrznego (RW) i rdzenia zewnętrznego (RZ) – prostopadle do poprzecznego przekroju bulwy. Próbki miały kształt walca o wysokości 10 mm i średnicy 10 mm, co pozwa-

łało na pobieranie możliwie jednorodnego materiału z badanych obszarów. Następnie, z każdego walca odcinano próbkę o wymiarach 1x10 mm do bezpośrednich obserwacji mikroskopowych (rys. 1).



Rys. 1. Schemat pobierania próbek w bulwie, RW – rdzeń wewnętrzny, RZ – rdzeń zewnętrzny, W – wierzchołek, B – bok, P – przystolon

Fig. 1. Schematic diagram of sample collection in potato tuber, RW – inner core, RZ – outer core, W – top, B – side, P – near the stolon

Mikroskopowe obrazy struktury badanych tkanek uzyskiwano przy użyciu optycznego mikroskopu konfokalnego „TSRLM”, wyposażonego w obiektyw 10/0.24 oraz ciągły, precyzyjny przesuw obiektu w płaszczyźnie X-Y, z dokładnością do 1 μm , co pozwalało uzyskać na jednym obrazie od kilku do kilkunastu przekrojów całych komórek. Przeprowadzenie całej obserwacji dla jednej próbki było możliwe w ciągu ok. 1 minuty, a więc nie dochodziło do jej wysychania.

Otrzymano dobrej jakości obrazy mikroskopowe, które nadawały się do przeprowadzenia analizy ilościowej parametrów struktury komórkowej, zgodnie z wcześniej opracowaną metodyką [14]. Z uzyskanych płaskich przekrojów struktury uzyskano rozkłady parametrów struktury związane z wielkością komórek: powierzchnia – A , obwód – P , średnica Fereta, maksymalna – F_{max} i minimalna – F_{min} , oraz z kształtem komórek: stosunek średnic Fereta – F_{min}/F_{max} , wydłużenie – E (stosunek różnicy maksymalnej i minimalnej średnicy elipsy wpisanej w komórkę do sumy tych średnic), zwartość – $C (16 A/P^2)$. Do analizy parametrów struktury wykorzystano program Aphelion natomiast do analizy statystycznej oraz uzyskania rozkładów mierzonych wielkości program Excel.

WYNIKI I DYSKUSJA

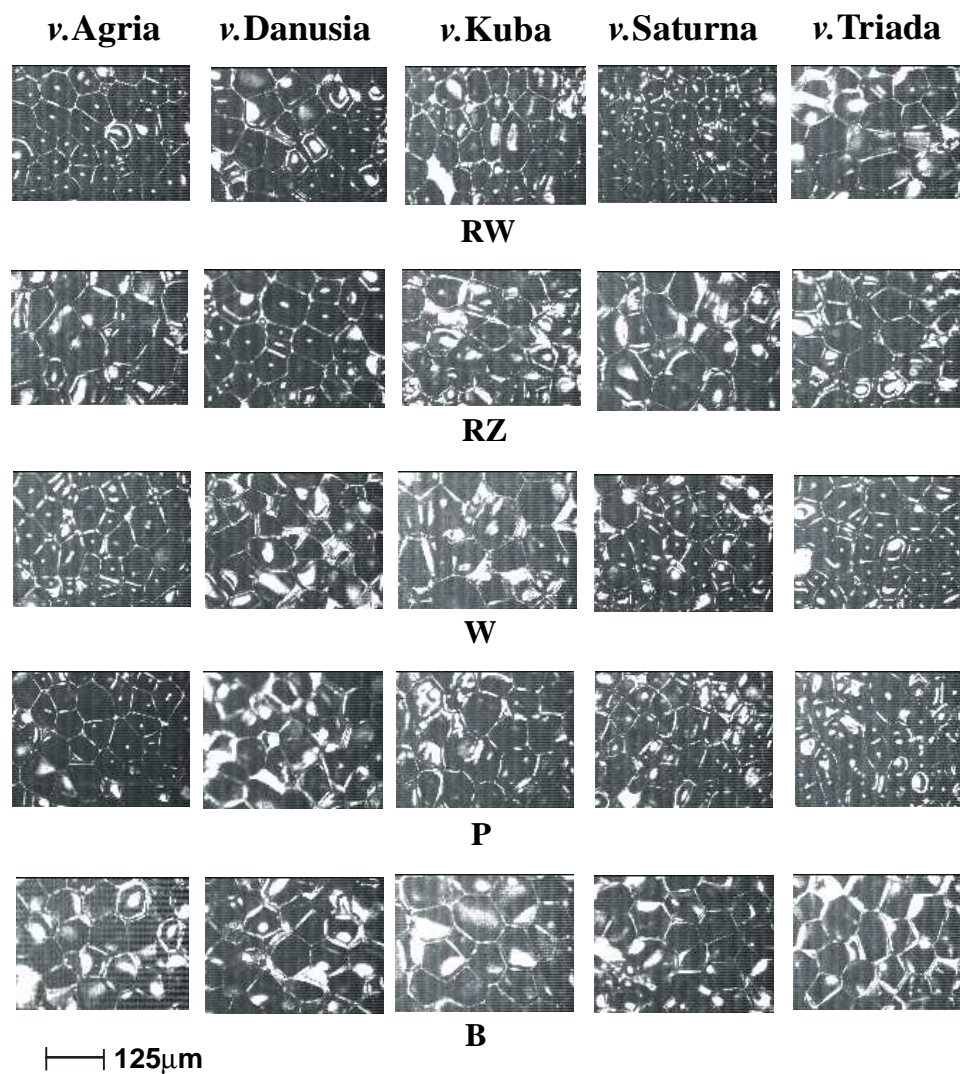
Uzyskane obrazy mikrostruktury tkanki mięsistej bulw badanych odmian różnią się w zależności od obszaru pobrania próbek do badań w obrębie bulwy, np. we wszystkich przypadkach komórki rdzenia zewnętrznego są większe od komórek rdzenia wewnętrznego (rys. 2).

Analizie poddano ponad 600 obrazów mikroskopowych, z których uzyskano parametry oraz ich rozkłady dla około 14 500 komórek. Dla każdego miejsca pobrania próbki otrzymano ponad 400 komórek, co jest wystarczającą liczbą do przeprowadzenia analizy statystycznej [13]. Przy tak dużej liczbie prób możliwe jest porównywanie średnich wartości zmierzonych parametrów, które wraz z odchyleniem standardowym zestawiono w (tab. 2). Natomiast ze względu na bardzo dużą liczbę (125) uzyskanych rozkładów dla wszystkich parametrów, miejsc w bulwie i odmian przedstawiono przykładowe rozkłady dla dwóch wybranych odmian, Saturna i Danusia (rys. 3 i 4). Dla wszystkich uzyskanych parametrów przeprowadzono test zgodności λ Kołmogorowa-Smirnowa przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ co pozwoliło na porównanie rozkładów odpowiednich wielkości dla wszystkich badanych miejsc pobrania w bulwie, dla każdej odmiany.

Uzyskane wyniki wskazują, że struktura komórkowa tkanki mięksizowej bulwy ziemniaka jest cechą charakterystyczną każdej odmiany i nie jest jednorodna. Występują różnice parametrów struktury w zależności od miejsca w bulwie.

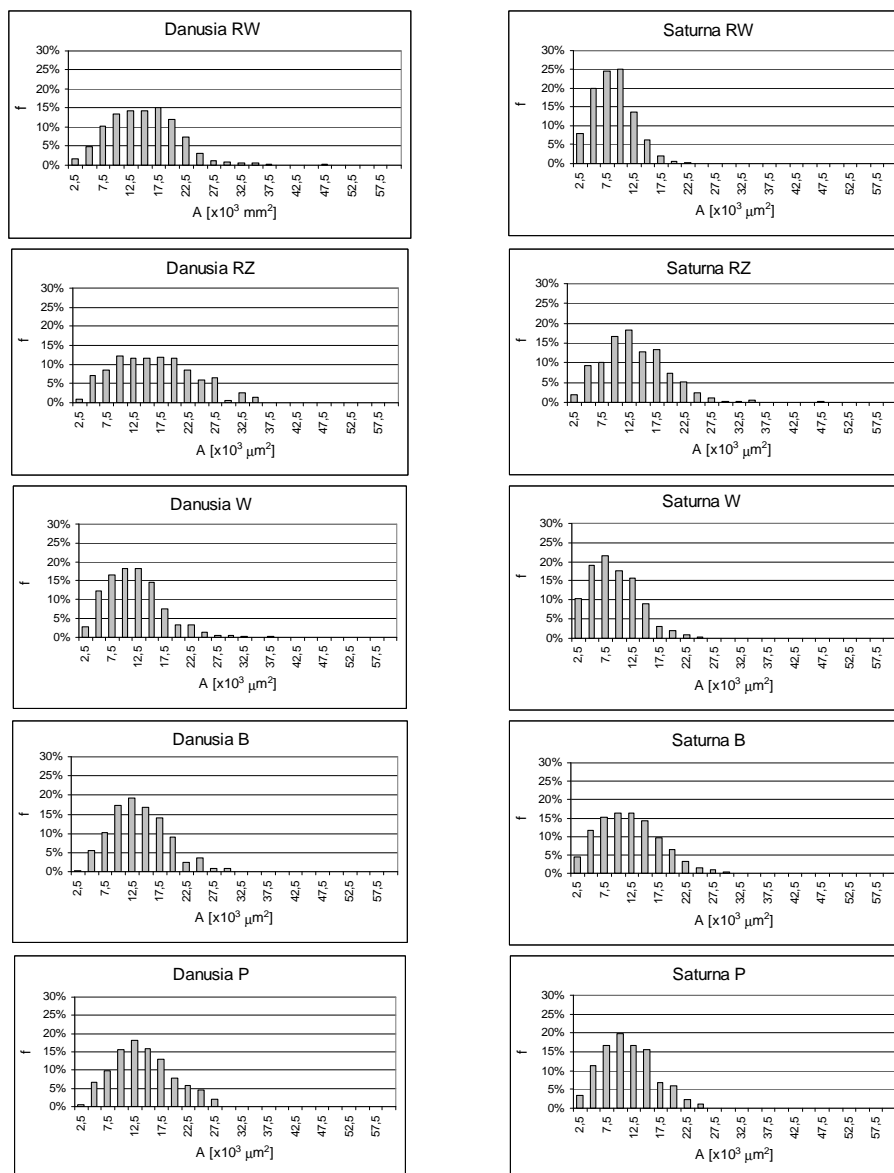
Parametry struktury: stosunek średnic Fereta, wydłużenie i zwartość wskazują, że niezależnie od wielkości, wszystkie komórki mają zbliżony kształt. Parametry wydłużenia – E , mieszczą się w przedziale 0,29-0,37 dla wszystkich badanych miejsc i odmian, natomiast zwartość – C , dla wszystkich zmierzonych komórek zawiera się w przedziale 0,62-0,67. Wszystkie komórki mają, więc kształt pośredni między kołem a spłaszczoną elipsą, o zbliżonym stosunku średnic Fereta, F_{min}/F_{max} , zmieniającym się w granicach 0,73-0,80.

Ze szczegółowej analizy otrzymanych rozkładów wynika, że odmiana Saturna dla wszystkich miejsc pobrania próbek wykazuje największą jednorodność komórek, powierzchnia – A i obwód – P , około 60% komórek zawiera się w bardzo wąskim przedziale wielkości, 7500-12500 μm^2 dla powierzchni i 350-600 μm dla obwodu. Z kolei odmiana Kuba wykazuje największą niejednorodność komórek, najszersze rozkłady parametrów A i P , odpowiednio 5000-17500 μm^2 i 450-750 μm , dla wszystkich badanych miejsc. W odmianie Agria i Danusia dużą jednorodność komórek, ze względu na powierzchnię i obwód, wykazują wszystkie badane miejsca w bulwie (7500-15000 μm^2 i 450-650 μm) oprócz rdzenia zewnętrznego (5000-25000 μm^2 oraz 500-800 μm). Odmianę Triada charakteryzuje największa jednorodność wielkości komórek dla części bocznej oraz rdzenia wewnętrznego i rdzenia zewnętrznego (5000-12500 μm^2 i 450-650 μm) a najmniejsza dla wierzchołka i części przystolonowej (5000-15000 μm^2 i 400-650 μm).



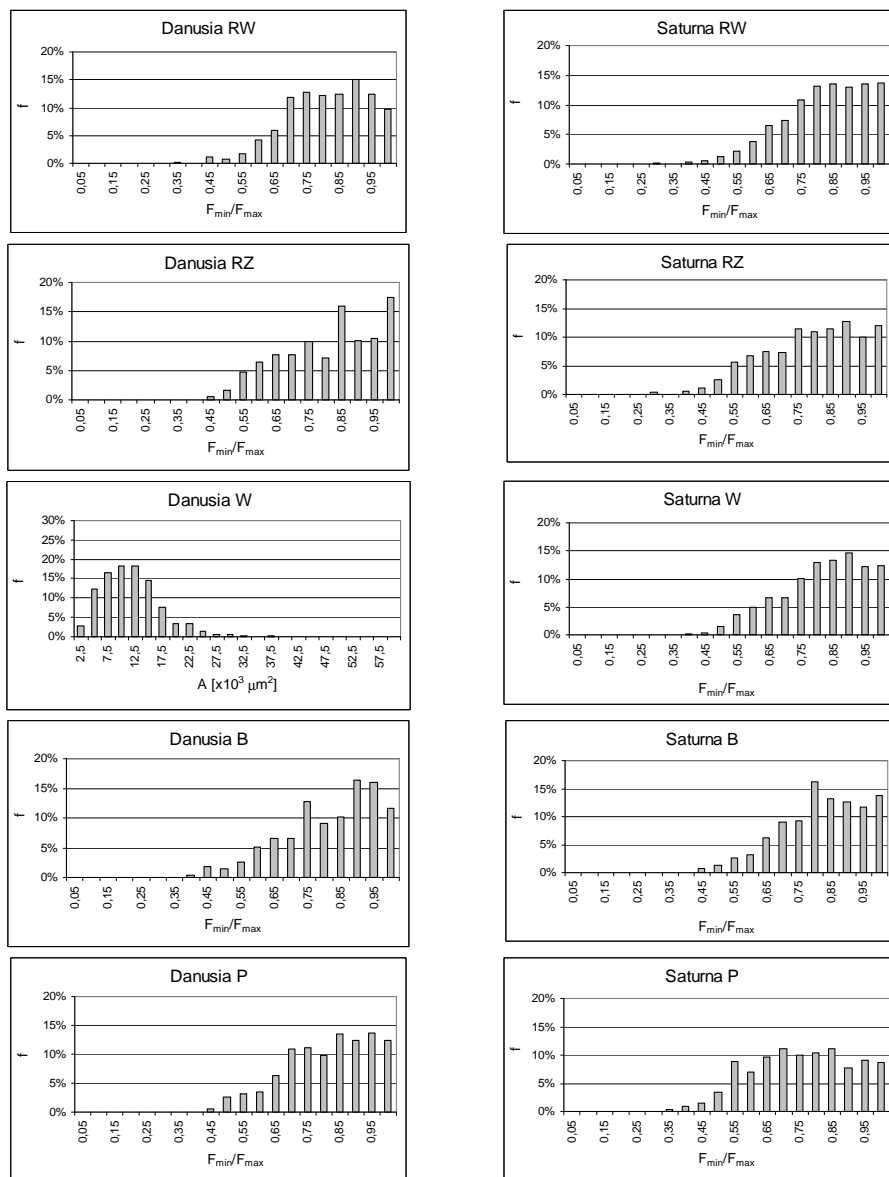
Rys. 2. Przykładowe mikroskopowe obrazy struktury komórkowej tkanki bulwy ziemniaka badanych odmian i miejsc pobrania próbki w bulwie, uzyskane przy użyciu optycznego mikroskopu konfokalnego (TSRLM). RW – rdzeń wewnętrzny, RZ – rdzeń zewnętrzny, W – wierzchołek, B – bok, P – przystolon

Fig. 2. Samples of microscope images of cells structures of potato tuber tissues for studied varieties and place of sample collection in tuber, obtained from optical confocal microscope (TSRLM). RW – inner core, RZ – outer core, W – top, B – side, P – near the stolon



Rys. 3. Przykładowe rozkłady płaskiego przekroju komórek dla odmiany Danusia i Saturna, f – częstość, A – powierzchnia, RW – rdzeń wewnętrzny, RZ – rdzeń zewnętrzny, W – wierzchołek, B – bok, P – przystolon

Fig. 3. Sample distributions of cell surface areas for Danusia and Saturna variety, f – frequency, A – area, RW – inner core, RZ – outer core, W – top, B – side, P – near the stolon



Rys. 4. Przykładowe rozkłady ilorazu średnic Fereta komórek dla odmiany Danusia i Saturna, f – częstotliwość, F_{min}/F_{max} – iloraz średnic Fereta, RW – rdzeń wewnętrzny, RZ – rdzeń zewnętrzny, W – wierzchołek, B – bok, P – przystolon

Fig. 4. Sample distributions of the cell ratio of Feret diameters for Danusia and Saturna variety, f – frequency, F_{min}/F_{max} – ratio of Feret diameters, RW – inner core, RZ – outer core, W – top, B – side, P – near the stolon

Tabela 2. Średnie wartości mierzonych parametrów dla 5 badanych odmian i dla wszystkich miejsc tkanki miękkiszowej bulwy ziemniaka, gdzie: A (μm^2) – powierzchnia, P (μm) – obwód, F_{min}/F_{max} – stosunek średnic Fereta, E – wydłużenie (stosunek różnicy maksymalnej i minimalnej średnicy elipsy wpisanej w komórkę do sumy tych średnic), C – zwartość ($16 A/P^2$), RW – rdzeń wewnętrzny, RZ – rdzeń zewnętrzny, W – wierzchołek, B – bok, P – przystolon

Table 2. Mean values of the measured parameters for 5 studied varieties and all places of potato tuber parenchyma tissue, where: A (μm^2) – area, P (μm) – perimeter, F_{min}/F_{max} – ratio of Feret diameters, E – elongation (ratio between the difference of the maximum and minimum ellipse diameter inscribed into a cell up to the sum of these parameters), C – compactness ($16 A/P^2$), RW – inner core, RZ – outer core, W – top, B – side, P – near the stolon

Odmiana Variety	Parametr Parameter	RW	RZ	W	B	P	
Agria	A	11135	15642	12754	12070	10248	
	sd	5632	8323	6238	6180	5003	
	P	501,4	594,6	531,7	516,6	483,1	
	sd	133,3	158,3	135,3	137,3	121,3	
	F_{min}/F_{max}	0,73	0,79	0,79	0,79	0,78	
	sd	0,13	0,14	0,14	0,13	0,14	
	E	0,37	0,29	0,30	0,30	0,31	
	sd	0,15	0,16	0,16	0,15	0,16	
	C	0,66	0,66	0,67	0,67	0,65	
	sd	0,07	0,08	0,07	0,07	0,08	
	Danusia	A	13722	15009	10559	12606	12942
		sd	6281	7254	5441	5130	5576
		P	559,9	585,2	489,6	543,0	556,8
		sd	130,4	145,3	126,9	105,9	120
F_{min}/F_{max}		0,79	0,79	0,78	0,79	0,79	
sd		0,13	0,15	0,14	0,14	0,14	
E		0,30	0,30	0,30	0,29	0,30	
sd		0,15	0,16	0,15	0,16	0,15	
C		0,66	0,65	0,66	0,65	0,63	
sd		0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	

Tabela 2. cd.
Table. 2. Cont.

Odmiana Variety	Parametr Parameter	RW	RZ	W	B	P
Kuba	A	12971	13162	15811	18544	12824
	sd	6761	7599	9840	9653	7416
	P	532	547,98	605,09	643,15	538,44
	sd	137,4	161,3	193,6	172,4	157,3
	F_{min}/F_{max}	0,76	0,76	0,73	0,80	0,76
	sd	0,15	0,15	0,15	0,13	0,15
	E	0,36	0,33	0,37	0,29	0,34
	sd	0,16	0,16	0,17	0,15	0,16
	C	0,63	0,64	0,62	0,66	0,64
	sd	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08
	A	7395	12335	7905	10754	10254
	sd	3590	6100	4455	5493	4890
	P	407,7	534,3	418,8	491,8	492,5
	sd	103,6	129,4	119,9	128,3	122,0
Saturna	F_{min}/F_{max}	0,80	0,77	0,79	0,80	0,73
	sd	0,13	0,15	0,14	0,13	0,15
	E	0,29	0,32	0,29	0,29	0,38
	sd	0,15	0,17	0,16	0,15	0,17
	C	0,66	0,65	0,66	0,66	0,64
	sd	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08
Triada	A	13916	12038	13244	10334	10075
	sd	6759	5388	7249	6109	5618
	P	561,6	524,6	541,7	481,4	484,1
	sd	137,4	118,1	157,7	141,9	133,4
	F_{min}/F_{max}	0,78	0,79	0,78	0,79	0,77
	sd	0,14	0,14	0,15	0,14	0,15
	E	0,30	0,30	0,32	0,31	0,33
	sd	0,16	0,15	0,17	0,15	0,17
	C	0,66	0,66	0,65	0,65	0,63
	sd	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08

Rozkłady parametrów związane z kształtem komórek wykazują, że komórki części bocznej, wierzchołkowej oraz rdzenia wewnętrznego i zewnętrznego odmiany Saturna posiadają więcej komórek w wąskim przedziale wartości parametrów F_{min}/F_{max} (0,750-0,975) niż część przystolonowa (0,550-0,975). Komórki wszystkich miejsc odmiany Agria, Kuba i Triada zawierają się w szerokim przedziale wartości parametrów F_{min}/F_{max} (0,675-0,975) tylko bok odmiany Kuba ma komórki w wąskim przedziale wartości tych parametrów (0,775-0,975). Szeroki przedział parametrów kształtu cechuje również część przystolonową, wierzchołkową i rdzenia wewnętrznego (0,675-0,975) a wąski część boczną i rdzenia zewnętrznego (0,850-0,975) odmiany Danusia. Rozkłady parametrów wydłużenia – E zawierają się w przedziale wyższych wartości dla rdzenia wewnętrznego (0,150-0,550) niż u pozostałych miejsc w odmianie Agria (0,075-0,450). Większe wartości przedziału tego parametru od pozostałych miejsc (0,075-0,450) zanotowano również dla części przystolonowej (0,175-0,575) w odmianie Saturna. Dla odmiany Kuba przedział mniejszych wartości wydłużenia stwierdzono tylko w przypadku części bocznej bulwy (0,075-0,375), a dla odmiany Danusia i Triada nie stwierdzono wyraźnych różnic w uzyskanych rozkładach (0,075-0,375). Z rozkładów parametrów zwartości – C można wywnioskować, że w szerszym przedziale wartości tego parametru zawierają się komórki części przystolonowej odmiany Agria (0,575-0,750), przystolon, bok i rdzeń zewnętrzny dla odmiany Danusia (0,575-0,750). Taka sama zależność jest dla rdzenia wewnętrznego (0,550-0,750) dla odmiany Kuba, części przystolonowej i rdzenia zewnętrznego (0,550-0,750) odmiany Saturna i części bocznej odmiany Triada.

W tabeli 2 przedstawiono średnie wartości wyznaczonych parametrów i wartości ich odchylenia standardowego dla poszczególnych odmian oraz miejsc pobrania próbek. W przypadku zauważenia zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami jej potwierdzeniem był test zgodności λ Kołmogorowa-Smirnowa dający informacje czy uzyskane wartości średnie parametrów pochodzą od rozkładów różniących się istotnie od siebie czy też nie.

Największe średnie wartości powierzchni płaskiego przekroju komórki A i jej obwodu P dla tkanki rdzenia wewnętrznego i boku odnotowano dla odmiany Kuba, dla części przystolonowej odmiany Danusia, dla wierzchołka odmiany Triada i dla rdzenia zewnętrznego odmiany Agria. Najmniejsze wartości tych parametrów odnotowano dla tkanki rdzenia wewnętrznego i wierzchołka odmiany Saturna, dla rdzenia zewnętrznego, wierzchołka i części przystolonowej odmiany Triada. We wszystkich odmianach średnia wielkość powierzchni komórki rdzenia wewnętrznego jest mniejsza niż dla rdzenia zewnętrznego, jedynie dla odmiany Triada zależność ta jest odwrotna, ale test zgodności λ Kołmogorowa-Smirnowa nie wykazuje istotnych różnic w rozkładach tych parametrów dla tej odmiany. Taka sama zależność występuje pomiędzy wielkością komórek części bocznej i rdzenia

zewnętrznego odwrotnie jest w przypadku odmiany Kuba, dla której test zgodności wykazał występowanie istotnych różnic w rozkładach otrzymanych parametrów.

Parametry geometryczne opisujące kształt komórki: iloraz średnicy Fereta minimalnej i maksymalnej – F_{min}/F_{max} , oraz wydłużenie – E , są jednakowe dla wszystkich typów tkanki dla odmiany Danusia. Najmniej wydłużone są komórki rdzenia wewnętrznego odmiany Agria i Kuba oraz wierzchołka odmiany Kuba, a najbardziej komórki części bocznej dla wszystkich badanych odmian. Wartość średnia parametru zwartości – C dla wszystkich badanych miejsc i odmian zawiera się od 0,62 dla wierzchołka odmiany Kuba do 0,67 dla wierzchołka i boku odmiany Agria.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania zmienności parametrów struktury komórkowej w bulwie ziemniaka – 5 odmian, 5 miejsc pobrania próbek w każdej bulwie – na podstawie analizy mikroskopowych obrazów płaskich przekrojów próbek, pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Parametry wielkości i kształtu komórek są cechami charakterystycznymi dla każdej odmiany.
2. Parametry struktury komórkowej zmieniały się w zależności od miejsca w bulwie:
 - rdzeń wewnętrzny posiadał mniejsze komórki od rdzenia zewnętrznego dla wszystkich badanych odmian, jedynie dla odmiany Triada stwierdzono zależność odwrotną, chociaż statystycznie nie wykazano istotnych różnic w rozkładach parametrów dla tych obszarów.
 - obszar boczny badanych bulw, wszystkich odmian, charakteryzował się mniejszymi komórkami od rdzenia zewnętrznego, jedynie w odmianie Kuba komórki części bocznej były większe od komórek rdzenia zewnętrznego.
3. Największą jednorodność wielkości komórek, wszystkich badanych miejsc w bulwie, wykazała odmiana Saturna a największą niejednorodność odmiana Kuba.
4. Najbardziej jednorodne komórki pod względem kształtu, dla wszystkich badanych miejsc w bulwie, posiadała odmiana Danusia.
5. Wszystkie badane odmiany charakteryzowały się najbardziej wydłużonymi komórkami w części bocznej bulwy.

PIŚMIENNICTWO

1. **Aguilera J. M., Stanley D.W., Baker K.W.:** New dimensions in microstructure of food products. *Food Science & Technology*, 11, 3-9, 2000.

2. **Czachor G.:** Właściwości mechaniczne sublimowanych tkanek wybranych warzyw korzeniowych. Międzynarodowa Konferencja Naukowa PTA „Agrofizyka w badaniach surowców i produktów rolniczych”, Kraków, 12-13.09, 2002.
3. **Da-Wen Sun, Bing Li:** Microstructural change of potato tissues frozen by ultrasound-assisted immersion freezing. *Journal of Food Engineering* 57, 337-345, 2002.
4. **Dean B.:** The chemical nature of blackspot bruising. *Potato Bruising; How and Why; Emphasizing Blackspot Brusie*. Ed. R.C. Brook, Haslett, MI: Running Water Publishing, 1996.
5. **Hallet I.C., Mac Rae E.A., Węgrzyn T.F.:** Changes in kiwi-fruit cell wall ultra structure and cell packing during post harvest ripening. *Int. J. Plant Sci.*, 153, 49-62, 1992.
6. **Haman J., Konstankiewicz K.:** Destruction processes In the cellular medium of a plant-theoretical approach. *Int. Agrophysics*, 14, 37-42, 2000.
7. **Haman J., Konstankiewicz K., Zdunek A.:** Influence of water potential on the failure of potato tissue. *Int. Agrophysics*, 14, 181-186, 2000.
8. **Harker F.R., Hallet I.C.:** Physiological and mechanical properties of kiwi-fruit tissue associated with change during cool storage. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 119, 987-993, 1994.
9. **Jackman, R. L., Stanley D. W.:** Perspectives in the textural evaluation of plant foods, *Trends Food Sci. Technol.*, 6, 187-194, 1995.
10. **Khan A.A., Vincent J.F.F.:** Compressive rigidity and fracture properties of apple and potato parenchyma. *J. Texture Studies*, 24 (4), 423-435, 1993.
11. **Konstankiewicz K., Czachor H., Gancarz M., Król A., Pawlak K., Zdunek A.:** Cell structural parameters of potato tuber tissue. *Int. Agrophysics*, 16, 2, 119-127, 2002a.
12. **Konstankiewicz K., Gancarz M., Król A., Pawlak K.:** Wyznaczanie parametrów struktury tkanki miękkiszowej bulwy ziemniaka odmian Danusia i Kuba. *Technica Agraria*, 1(2), 23-32, 2002.
13. **Konstankiewicz K., Gancarz M., Król A., Pawlak K.:** Wyznaczanie minimalnej liczby komórek do analizy geometrycznych parametrów struktury tkanki bulwy ziemniaka. (Determination of the minimum cells number required for the analysis of tissue geometrical parameters of potato tubers) *Acta Agrophysica* 97, 2(3), 579-587, 2003.
14. **Konstankiewicz K., Pawlak K., Zdunek A.:** Quantitative method for determining cell structural parameters of plant tissues. *Int. Agrophysics*, 15, 161-164, 2001.
15. **Konstankiewicz K., Pawlak K., Zdunek A.:** Influence of structural parameters of potato tuber cells on their mechanical properties. *Int. Agrophysics*, 15, 243-246, 2001.
16. **Konstankiewicz K., Zdunek A.:** Metod of acoustic emission In the studies of cracking process in plant tissues. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, <http://www/ejpau.media.pl/series/volume3/issue2/engineering/art-01.html>. 2000.
17. **Konstankiewicz K., Zdunek A.:** Influence of turgor and cell size on the cracking of potato tissue. *Int. Agrophysics*, 15, 27-30, 2001.
18. **Sanz P.D., Solas M., Otero L., de Elvira J.A, Carrasco J.A, Molina-Garcia A.D.:** Microstructure of frozen large fruits. *Pol. J. Fodd Nutri. Sci.*, 7/48, 3(S), 65-68, 1998.
19. **Zdunek A., Konstankiewicz K.:** Emisja akustyczna w badaniu procesów pęknięcia tkanek roślinnych. *Acta Agrophysica* 55, 2001.
20. **Zdunek A., Konstankiewicz K.:** Acoustic emission in investigation of plant tissue micro-cracking. *Transactions of ASAE*, 47 (4), 1171-1177, 2004.
21. **Zgórska K.:** Biologiczne i ekologiczne czynniki warunkujące podatność bulw ziemniaka na powstawanie ciemnej plamistości pouszkodzeniowej. *Pracownia Małej Poligrafii Instytutu Ziemiaka, Bonin*, 1989.

VARIABILITY OF PARAMETERS OF CELLULAR STRUCTURE IN POTATO TUBERS

Marek Gancarz, Krystyna Konstankiewicz, Kamil Pawlak

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: marko@demeter.ipan.lublin.pl

Abstract. The paper presents the results of a study on the variability of parameters of cellular structure in potato tubers – 5 potato cultivars, 5 locations of core sampling on each tuber (near the stolon, side of tuber, tip of tuber, inner core, and outer core). For microscope observation of the cellular structure an optical confocal microscope was used – „CONFOCAL 2002” (TSRLM). Specimens were in natural state, and composite image was used, containing sufficient number of cells for analysis of the parameters of the structure. Distributions of the geometric parameters of the cellular structure were obtained, related to the cell size (for 2D section: surface area, perimeter, Feret diameters) and to cell shape: Feret diameter ratio, elongation – E (ratio of the difference of maximum and minimum diameter of ellipse inscribed in a cell to the sum of the diameters), and compactness – $C (16 A/P^2)$. Comparison was made of the distributions of all the measured parameters of structure for the sampling locations on the tubers. It was found that microstructure is a characteristic feature of each cultivar, and the location on the tuber affects the structure.

Key words: parameters of cellular structure in potato tuber, confocal microscope, image analysis