

DOROTA GUMUL

CHARAKTERYSTYKA PĘCZNIENIA I KLEIKOWANIA SKROBI POCHODZĄCEJ Z NIEDOJRZAŁYCH ZBÓŻ

Streszczenie

Z ziarna pszenicy, żyta i jęczmienia, zebranego z pola w różnych fazach dojrzałości, wyizolowano skrobie metodą laboratoryjną. Oznaczono zawartość suchej substancji i skrobi w ziarnie zbóż, jak również wykonano charakterystykę pęcznienia uzyskanych skrobi, czyli ich zdolność wiązania wody i rozpuszczalność w wodzie, w temp. 60 i 80°C oraz charakterystykę kleikowania w wiskozymetrze Rheotest 2. Stwierdzono, że zawartość skrobi w ziarnie pszenicy, żyta i jęczmienia we wczesno-woskowej fazie dojrzałości wynosiła ponad 55% suchej substancji ziarna i wzrastała w miarę dojrzewania ziarniaków, przy czym wydajność skrobi z niedojrzałych ziarniaków dorównywała uzyskowi skrobi z ziarna dojrzałego. Skrobia wyodrębniona z niedojrzałych ziarniaków charakteryzowała się mniejszą zdolnością wiązania wody i mniejszą rozpuszczalnością w temperaturze 60 i 80°C, w porównaniu ze skrobią z ziarniaków dojrzałych. Kleiki skrobi pochodzącej z niedojrzałych zbóż odznaczały się zarówno większą lepkością maksymalną oraz małą stabilnością lepkości podczas ogrzewania w temperaturze 96°C i znacznym wzrostem lepkości po ochłodzeniu do temperatury 50°C, w odniesieniu do kleików ze skrobi zbóż dojrzałych.

Wstęp

Spośród wielu fizyczno-chemicznych właściwości skrobi duże praktyczne znaczenie mają pęcznienie oraz kleikowanie ziarenek skrobi w wodzie. Ważną cechą skrobi jest więc zdolność wiązania wody i rozpuszczalność skrobi w wodzie. W miarę wzrostu temperatury wodnej suspensji skrobiowej, znaczna ilość wolnej wody zostaje przez skrobię związana, a jednocześnie obserwuje się równoległy wzrost rozpuszczalności skrobi w wodzie. Podczas, gdy skrobie z roślin bulwiastych wykazują znaczną rozpuszczalność, to skrobie zbożowe, ze względu na heksagonalne uporządkowanie cząsteczek tych pierwszych, a interhelikalne drugich, odznaczają się mniejszą rozpuszczalnością [14, 17, 24].

Inną równie cenną właściwością skrobi, oprócz jej zdolności do pęcznienia, jest tworzenie lepkich kleików. Ziarenka skrobiowe są nierozpuszczalne w zimnej wodzie, wykazują natomiast właściwości higroskopijne oraz mają zdolność chłonięcia wody już w temperaturze pokojowej. Jednak zjawisko to przebiega wolno, z zachowaniem kształtu ziarenek. Dopiero w temperaturze kleikowania, ściśle odpowiadającej rodzajowi skrobi, ziarenka tracą swą strukturę i powstaje roztwór koloidalny, czyli tzw. kleik skrobiowy [17, 21, 24, 31].

Kleikowanie skrobi jest ważnym zjawiskiem, zachodzącym podczas wielu procesów przetwarzania żywności. Takie procesy, jak: wypiek chleba, gęstnienie i żelowanie sosów oraz nadzień do ciast, zależą od właściwego przechodzenia skrobi w żel. Nic więc dziwnego, że wiele uwagi w pracach badawczych zwrócono na technologiczne znaczenie kleikowania skrobi.

Do badań procesu kleikowania używano wielu metod. Jedną z nich jest oznaczenie charakterystyki kleikowania, czyli zmian lepkości kleiku podczas wzrostu lub spadku temperatury w różnego typu wiskozymetrach. Temperatura kleikowania oraz przebieg charakterystyki kleikowania zależą zarówno od botanicznego pochodzenia skrobi, wartości pH, ilości dostępnej wody podczas kleikowania, dodatku substancji chemicznych, modyfikacji oraz związanej z tym degradacji cząsteczek skrobi [9, 17]. Wykazano ponadto, że na temperaturę kleikowania wywiera wpływ długość łańcuchów stanowiących rozgałęzienia amylopektyny oraz ich rozmieszczenie [3].

W związku z nadprodukcją ziarna zbóż na świecie wynikają potrzeby wskazania innego niż dotychczas przetwarzania i wykorzystania go w gospodarce. Jak wykazano [1, 4, 5], zboża w stadium niepełnej dojrzałości mogą być źródłem wielu związków, których zawartość w dojrzałych ziarniakach wyraźnie się zmniejsza.

Badania nad dojrzewaniem zbóż, a w szczególności ich ziarniaków, są prezentowane w wielu publikacjach. Badania te jednak odnoszą się wyłącznie do ostatniej fazy dojrzewania, a mianowicie, do dojrzałości pełnej. Natomiast analiza ziarniaków zbóż w fazie niepełnej dojrzałości jest podejmowana tylko przez nielicznych autorów. Poinstalowano więc przeprowadzić badania na ten temat, ze szczególnym uwzględnieniem skrobi jako polisacharydu dominującego w ziarnie zbóż, gdyż synteza skrobi zaczyna się tuż po zapłodnieniu i przebiega głównie w pierwszych fazach rozwoju ziarniaka [1, 4, 25]. Wydaje się więc, że niedojrzałe ziarno może stać się źródłem skrobi o interesujących właściwościach funkcjonalnych w odniesieniu do ziarna zbóż dojrzałych. Konieczne jest jednak poznanie fizyczno-chemicznych właściwości tego polimeru, w porównaniu ze skrobią zbóż dojrzałych.

Celem pracy było porównanie jednej z najważniejszych funkcjonalnych właściwości skrobi pochodzącej ze zbóż zebranych w różnych fazach dojrzałości, a mianowicie jej zdolności do pęcznienia i kleikowania.

Materiał i metody badań

Materiałem do badań były skrobie wyodrębnione z ziarna pszenicy (odmiany Almari), żyta (odmiany Dańkowskie Żłote) i jęczmienia (z mieszanki bezodmianowej), które zbierano z pól Rolniczego Zakładu Doświadczalnego SGGW w Wilanowie, w latach 1996, 1997 i 1998. Zbioru ziarna dokonywano w różnych fazach jego dojrzałości (tab. 1).

Tabela 1

Zestawienie dat zbiorów zbóż, z których wyodrębniano skrobie.
List of harvesting date of cereals, used for starch separations.

Faza dojrzałości ziarna / Stage of kernel maturity	Rodzaj zboża i data zbioru / Cereals and dates of harvest		
	Pszenica / Wheat	Żyto / Rye	Jęczmień / Barley
wczesno-woskowa / early-waxy	10.07.1997, 29.06.1998	03.07.1997, 29.06.1998	10.07.1997, 06.07.1998
późno-woskowa / late-waxy	17.07.1997, 06.07.1998	17.07.1997, 06.07.1998	17.07.1997, 13.07.1998

W celu porównania te same zboża zebrano w fazie dojrzałości pełnej.
The same cereals were harvested at the stage of full maturity.

Pora zbioru następowała po około 30–40 dniach po kwitnieniu i była dobrana na podstawie oględzin sensorycznych tak, aby pierwszą próbkę pobrać w okresie dojrzałości wczesno-woskowej, a drugą w 7–10 dni później, czyli w okresie dojrzałości późno-woskowej. Kłosa żęto ręcznie, sierpem albo nożem, wraz z 20–40 cm łodygą, źdźbła i młócono w młócarce laboratoryjnej. W celu uzyskania homogeniczności masy ziarnowej, ziarno było rozdrabniane w kutrze Instytutu Przemysłu Mięsnego i Tłuszczowego w Warszawie i natychmiast zamrażane do temperatury $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$. Ziarno nie-dojrzałe przechowywano w opakowaniach próżniowych w stanie zamrożenia, aż do momentu wyodrębnienia z niego skrobi metodą laboratoryjną [8].

Ziarno dojrzałe poddawano mieleniu w młynku laboratoryjnym typu Quadrumat Junior i z uzyskanej mąki wyodrębniano skrobie [8].

W uzyskanych powietrznie suchych próbkach skrobi oznaczano:

- zawartość suchej masy metodą suszarkową,
- zawartość skrobi metodą Clendenninga z chlorkiem wapnia [13],
- zdolność wiązania wody (ZWW) i rozpuszczalność skrobi w wodzie, w temperaturach 60 i 80°C zmodyfikowaną metodą Leacha [27],
- charakterystykę 8,5% dyspersji skrobiowych w wiskozymetrze rotacyjnym Rheo-

test 2 wg programu podstawowego [27], z układem bolców jako elementem pomiarowym [10]. Określano następujące parametry: temperaturę kleikowania, maksimum lepkości, temperaturę przy maksimum lepkości, lepkość w temperaturze 96°C, lepkość po 20 minutach w temperaturze 96°C, lepkość po ochłodzeniu do temperatury 50°C.

Analizę statystyczną wyników przeprowadzono za pomocą arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel 6.0, przy poziomie istotności $\alpha = 0,01$, a obliczone parametry przedstawiono w tab. 5. i 6.

Wyniki i dyskusja

Wyniki badań zaprezentowane w tej pracy dotyczą skrobi trzech podstawowych gatunków zbóż uprawianych w Polsce, czyli pszenicy, żyta i jęczmienia, zbieranych z pola w latach 1996–1998 w różnych fazach dojrzałości.

Analizując dane zawarte w tab. 2. stwierdzono, że zgodnie z przewidywaniami, zawartość suchej substancji oraz zawartość skrobi wzrastała sukcesywnie w miarę dojrzewania ziarniaków pszenicy, żyta i jęczmienia. Interesujący jest fakt, że nawet przy najwcześniejszym terminie zbioru ziarna, zawartość skrobi wahała się na poziomie około 55% suchej substancji ziarna. Wyniki te pozostają w zgodzie z danymi uzyskanymi przez Abou-Guendię i D'Appolonię [1] oraz D'Egidio i wsp. [4]. Wykazali oni bowiem, że zawartość skrobi w fazie mlecznej, poprzedzającej fazę wczesnowoskową, może osiągać wartość nawet 66% suchej masy ziarna pszenicy.

Wydajność skrobi z ziarniaków niedojrzałych niejednokrotnie dorównywała uzyskowi skrobi z ziarna dojrzałego, a czasem nawet ją przewyższała, jak to stwierdzono w przypadku jęczmienia uprawianego w 1996 i 1998 r. (tab. 2).

W badaniach wcześniejszych Kulp [16] zaobserwował większą zdolność wiązania wody przez ziarenka skrobiowe pochodzące z niedojrzałych ziarniaków. Tłumażył on tę właściwość dużą początkową wilgotnością ziarna pszenicy, pozwalającą na tworzenie się słabych wiązań cząsteczkowych w ziarenkach skrobi, które stają się silniejsze dopiero wówczas, gdy obniża się wilgotność ziarna w miarę jego dojrzewania. Z tymi spostrzeżeniami zgadzają się Park i Lorenz [22], którzy stwierdzili, że „śródcząsteczkowe siły” w skrobiach „niedojrzałych” były słabe, co pozwoliło na większy stopień ich pęcznienia, w porównaniu ze skrobiami pochodzącymi ze zbóż dojrzałych. Wzrost zawartości amylozy w skrobi podczas dojrzewania ziarna może również wpływać na wzmocnienie wiązań cząsteczkowych w ziarenkach skrobiowych [16].

Wyniki zamieszczone w tab. 3. nie potwierdzają powyższych poglądów. Zarówno w temperaturze 60°C jak i 80°C skrobie wyodrębnione z niedojrzałych ziarniaków, zebranych w latach 1996-1998, wykazały mniejszą zdolność wiązania wody, w porównaniu ze skrobią wyizolowaną z ziaren dojrzałych.

Tabela 2

Charakterystyka skrobi zbożowych ze względu na źródło ich pochodzenia i lata zbioru ziarna.
 Characteristics of kernels starch as regards source of starch and year of harvested.

Pochodzenie skrobi / Source of starch	Faza dojrzałości ziarna / Stage of kernel maturity	Zawartość suchej substancji ziarna zbożowego / Content of dry substance of kernels [%]	Zawartość skrobi w ziarnie / Content of starch of kernels [% s.s.]	Wydajność skrobi / Yield of starch [% s.s.]
1997 r.				
Pszenica Wheat	wczesnowoskowa early-waxy	59,4	55,20	40
	późnowoskowa late-waxy	63,0	59,8	48
	pełna full	89,5	68,1	65
Żyto Rye	wczesnowoskowa early-waxy	57,1	55,5	44
	późnowoskowa late-waxy	60,9	56,7	40
	pełna full	88,4	59,5	45
Jęczmień Barley	wczesnowoskowa early-waxy	59,4	55,7	40
	późnowoskowa late-waxy	65,0	57,2	35
	pełna full	89,0	59,2	33
1998 r.				
Pszenica Wheat	wczesnowoskowa early-waxy	58,1	58,6	40
	późnowoskowa late-waxy	62,3	62,1	45
	pełna full	86,6	65,4	50
Żyto Rye	wczesnowoskowa early-waxy	58,3	56,6	30
	późnowoskowa late-waxy	62,7	59,0	32
	pełna full	88,1	62,3	35
Jęczmień Barley	wczesnowoskowa early-waxy	56,1	55,1	43
	późnowoskowa late-waxy	64,0	58,0	40
	pełna full	87,0	58,2	brak materiału

Tabela 3

Charakterystyka pęcznienia skrobi wyodrębnionych z ziarna w różnych fazach dojrzałości.
 Characteristics of swelling of starch from kernels in different stage of maturity

Pochodzenie skrobi / Source of starch	Faza dojrzałości ziarna / Stage of kernel maturity	Zdolność wiązania wody / Water binding capacity [g/1 g s.s.]		Rozpuszczalność w wodzie / Solubility [%]	
		w temp. 60°C	w temp. 80°C	w temp. 60°C	w temp. 80°C
1997 r.					
Pszenica Wheat	wczesnowoskowa early-waxy	5,0	6,5	2,0	3,7
	późnowoskowa late-waxy	5,2	7,4	2,1	3,9
	pełna full	5,8	8,0	2,5	4,9
Żyto Rye	wczesnowoskowa early-waxy	5,7	9,3	4,7	10,8
	późnowoskowa late-waxy	5,9	9,3	2,8	7,5
	pełna full	6,7	10,0	11,7	12,7
Jęczmień Barley	wczesnowoskowa early-waxy	3,0	6,0	0,7	3,8
	późnowoskowa late-waxy	3,2	7,0	0,5	4,7
	pełna full	4,3	7,7	0,4	4,8
1998 r.					
Pszenica Wheat	wczesnowoskowa early-waxy	5,6	6,6	2,9	4,4
	późno-woskowa late-waxy	5,4	6,7	4,0	5,4
	pełna full	6,0	7,4	5,6	6,3
Żyto Rye	wczesnowoskowa early-waxy	6,3	8,8	3,5	8,4
	późnowoskowa late-waxy	7,4	8,7	3,7	8,7
	pełna full	7,6	11,4	5,6	11,7
Jęczmień Barley	wczesnowoskowa early-waxy	5,4	7,4	1,2	1,6
	późnowoskowa late-waxy	5,4	7,6	1,5	2,3
	pełna full	5,3	7,4	1,6	3,8

Z faktem tym wiąże się również mniejsza rozpuszczalność w wodzie większości badanych skrobi, pochodzących ze zbóż niedojrzałych (tab. 3). Mniejsza zdolność wiązania wody i mniejsza rozpuszczalność skrobi „niedojrzałych” świadczą o ich oporności na proces pęcznienia, w porównaniu ze skrobiami ze zbóż dojrzałych. W związku z tym początkowo przypuszczano [12], że przy większej zawartości wody w ziarnie zbożowym w fazie dojrzałości wczesno-woskowej, stopień uporządkowania cząsteczek amylopektyny jest większy, co wpływa na większy stopień krystaliczności ziarenek skrobi ze zbóż niedojrzałych. Jednakże badania dotyczące pomiarów krystaliczności ziarenek skrobiowych przy zastosowaniu promieni X nie wykazały różnic w krystaliczności skrobi pochodzących z ziarna o różnych fazach dojrzałości [12].

Mniejszą zdolność pęcznienia ziarenek skrobi ze zbóż niedojrzałych należy więc tłumaczyć silniejszą asocjacją amylozy i amylopektyny tzn. tworzeniem podwójnych spiral pomiędzy łańcuchami amylozy, a bocznymi łańcuchami amylopektyny [15, 32]. W miarę dojrzewania ziarniaków, substancje tłuszczowe tworząc kompleks z amylozą przeciwdziałają łączeniu się jej łańcuchów z łańcuchami bocznymi amylopektyny w podwójne spirale [20, 28] i w ten sposób oddzielają amylozę od amylopektyny [32], wpływając również na ułożenie przestrzenne cząsteczki skrobi. Tester i Morrison [29, 30] główną rolę w pęcznieniu przypisują amylopektynie, a zwłaszcza takim jej właściwościom jak masa cząsteczkowa, kształt oraz jej ułożenie przestrzenne, a amyloza jest uważana przez tych autorów za „rozcieńczacz” skrobi.

Na uwagę zasługuje mała rozpuszczalność skrobi jęczmiennej, ze zbioru w latach 1997 i 1998, niezależnie od fazy dojrzałości ziarna (tab. 3). Należy to prawdopodobnie wiązać z odmienną strukturą ziarenek tej skrobi, w porównaniu z pozostałymi zbożami, spowodowaną faktem, iż w rozwijających się ziarnach jęczmienia masa cząsteczkowa amylopektyny wzrasta pięciokrotnie do 27 dnia po kwitnieniu, po czym nie ulega zmianie do końca dojrzewania ziarna [2]. O braku zmian masy cząsteczkowej amylopektyny skrobi jęczmiennej w początkowej fazie jej syntezy świadczą wyniki uzyskane za pomocą chromatografii żelowej (GPC) – [12] oraz identyczny wymiar fraktali masowych oznaczony w skrobi z ziarna jęczmienia w fazie dojrzałości wczesno-woskowej i pełnej [12].

Wyniki charakterystyki pęcznienia skrobi ze zbóż dojrzałych, uzyskane w niniejszej pracy (tab. 3) są zgodne z wynikami badań innych autorów [7, 8, 9, 11].

Analizując wyniki zawarte w tab. 4., przedstawiające charakterystykę kleikowania badanych skrobi, na podkreślenie zasługuje wyższa temperatura kleikowania i większa lepkość maksymalna kleików sporządzonych ze skrobi zbóż niedojrzałych, w porównaniu do kleików sporządzonych ze skrobi zbóż dojrzałych, co już wcześniej zauważyli Kulp [16] oraz D'Egidio i wsp. [4]. Kleiki te odznaczały się jednak małą stabilnością podczas ogrzewania w temperaturze 96°C (co jest zgodne z badaniami Kulpa [16]), przy czym po ochłodzeniu ich do temperatury 50°C, lepkość tych kleików

Tabela 4

Charakterystyka kleikowania skrobi wyodrębnionych z ziarna w różnych fazach dojrzałości.
 Characteristics of gelatinization of starch from kernels in different stages of maturity.

Pochodzenie skrobi / Source of starch	Faza dojrzałości ziarna / Stage of kernel maturity	Temp. kleikowania / Temp. of gelatinization [°C]	Lepkość maksymalna / Maximum viscosity [j.u.]	Temp. przy lepkości maks. / Temp. at max. viscosity [°C]	Lepkość w temp. 96°C / Viscosity at temp. 96°C [j.u.]	Lepkość po 20 min w temp. 96°C / Viscosity after 20 minutes at temp. 96°C [j.u.]	Lepkość po ochłodzeniu do temp. 50°C / Viscosity after cooling at temp. 50°C [j.u.]
1997 r.							
Pszenica Wheat	wczesnowoskowa early-waxy	68,5	113,0	96	112,0	59,0	102,0
	późnowoskowa late-waxy	68,5	115,0	96	114,5	67,0	112,0
	pełna / full	67,0	101,0	96	69,5	76,5	113,0
Żyto Rye	wczesnowoskowa early-waxy	62,0	48,5	96	44,0	46,0	57,0
	późnowoskowa late-waxy	66,0	60,5	96	50,5	58,5	80,0
	pełna / full	63,0	10,0	96	10,0	9,0	16,0
Jęczmień Barley	wczesnowoskowa early-waxy	81,5	106,5	96	53,5	75,0	132,0
	późnowoskowa late-waxy	77,0	135,5	96	51,5	92,5	154,0
	pełna / full	75,0	77,5	96	59,0	56,0	94,0
1998 r.							
Pszenica Wheat	wczesnowoskowa early-waxy	83,0	97,0	96	94,5	45,5	116,5
	późnowoskowa late-waxy	72,5	55,0	96	53,0	33,5	66,5
	pełna / full	74,0	54,0	96	49,0	47,0	76,5
Żyto Rye	wczesnowoskowa early-waxy	64,0	42,0	96	41,5	36,0	55,0
	późnowoskowa late-waxy	62,0	40,0	96	39,0	36,5	65,5
	pełna / full	61,5	38,5	96	41,5	45,5	65,0
Jęczmień Barley	wczesnowoskowa early-waxy	84,0	111,5	96	81,5	56,5	101,5
	późnowoskowa late-waxy.	76,0	112,0	96	88,0	70,0	112,5
	pełna / full	82,5	74,5	96	56,5	61,0	92,5

wzrastała niejednokrotnie do poziomu przewyższającego lepkość maksymalną. Ten znaczny wzrost lepkości sugeruje większą skłonność skrobi „niedojrzałych” do retrogradacji [19]. Jednak przeczą temu wyniki badań dotyczące tego procesu, w których wykazano mniejszą podatność kleików skrobi z niedojrzałych zbóż na retrogradację [12].

Większa lepkość maksymalna kleików skrobiowych ze zbóż niedojrzałych może być, zdaniem Kulpa [16] oraz Parka i Lorenza [22], wynikiem większej podatności na rozrywanie i tworzenie nowych wiązań międzycząsteczkowych w strukturze polimeru skrobiowego. Jak bowiem twierdzi Kulp, większa lepkość gorących kleików sporządzonych z „niedojrzałej” skrobi wskazuje na to, że wewnątrzcząsteczkowe wiązania w ziarenkach takiej skrobi są słabsze i dlatego są łatwiej rozrywane podczas ogrzewania, co powoduje większe pęcznienie i większą rozpuszczalność ziarenek skrobiowych, a w konsekwencji większą lepkość kleików.

Jednak stwierdzenie w tej pracy mniejszej zdolności do pęcznienia i rozpuszczalności skrobi ze zbóż zebranych w fazie niepełnej dojrzałości (tab. 3) oraz badania entalpii kleikowania tych skrobi, świadczące o mniejszej ich podatności na ten proces [12], przeczą tłumaczeniu Kulpa [16].

Wydaje się, że zaobserwowane tendencje należy więc tłumaczyć głównie stosunkiem amylozy do amylopektyny w analizowanych skrobiach, bowiem w pierwszym okresie formowania ziarenka skrobiowe składają się w większej ilości z amylopektyny [12], która jako frakcja rozgałęziona jest odpowiedzialna za wzrost lepkości kleików skrobiowych, natomiast większa zawartość amylozy może opóźnić ten proces [4, 26, 29, 30].

Na kształtowanie się plastyczności amylopektyny mogą również wpływać zawartość fruktanów i fruktozy [23], które w znacznych ilościach występują w ziarnach zbożowych w fazie dojrzałości wczesno-woskowej [4, 5, 6, 18].

Wyniki charakterystyki kleikowania skrobi ze zbóż dojrzałych pozostają w zgodzie z wynikami badań wcześniejszych [7, 9, 11].

Duża lepkość kleików skrobiowych, zarówno gorących jak i po ochłodzeniu, może znaleźć w przyszłości wiele praktycznych zastosowań skrobi jako zagęstnika w produkcji żywności. Natomiast duże obniżenie lepkości tych kleików podczas ich ogrzewania w temperaturze 96°C można wykorzystać w produkcji różnego rodzaju nadzień cukierniczych, bowiem skrobia taka nie będzie stwarzała trudności produkcyjnych podczas sporządzania takich nadzień w wysokich temperaturach, a jednocześnie zapewni ich wysoce lepka konsystencję po ochłodzeniu. Dlatego też, aby uzyskać surowiec o wyżej wymienionych właściwościach, bez stosowania modyfikacji fizycznych, chemicznych bądź enzymatycznych, uzasadniony wydaje się być wcześniejszy zbiór zboża, który gwarantuje uzyskanie takiej skrobi.

Tabela 5

Opracowanie statystyczne dotyczące procesu pęcznienia.
Statistical study concerning swelling of starch in the water.

Parametry procesu pęcznienia Parameters of swelling	Ilość powtórzeń Number of replicates	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności Coefficient of variation [%]
Zdolność wiązania wody w temp. 60°C Water binding capacity at temp. 60°C	3	0,14	2,54
Zdolność wiązania wody w temp. 80°C Water binding capacity at temp. 80°C	3	0,36	4,83
Rozpuszczalność w wodzie w temp. 60°C Solubility at temp. 60°C	3	0,26	5,04
Rozpuszczalność w wodzie w temp. 80°C Solubility at temp. 80°C	3	0,39	4,75

Tabela 6

Opracowanie statystyczne dotyczące procesu kleikowania.
Statistical study concerning gelatinization.

Wybrane punkty charakterystyki kleikowania Characteristics of starch gelatinization	Ilość powtórzeń Number of replicates	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności Coefficient of variation [%]
Temperatura kleikowania Temperature of gelatinization	3	0,16	0,22
Lepkość maksymalna Maximum viscosity	3	0,79	0,68
Temperatura w maksimum lepkości Temperature at maximum viscosity	3	0	0
Lepkość w temperaturze 96°C Viscosity at temp. 96°C	3	0,79	6,68
Lepkość po 20 minutach w temperaturze 96°C Viscosity after 20 min at temp. 96°C	3	0,85	7,01
Lepkość po ochłodzeniu do temperatury 50°C Viscosity after cooling to temp. 50°C	3	0,67	0,69

Wnioski

1. Zawartość skrobi w ziarnie pszenicy, żyta i jęczmienia we wczesno-woskowej fazie dojrzałości wynosiła ponad 55% suchej substancji ziarna i wzrastała w miarę dojrzewania ziarniaków, przy czym wydajność skrobi z ziarniaków niedojrzałych dorównywała uzyskowi skrobi z ziarna dojrzałego.
2. Skrobia wyodrębniona z niedojrzałych ziarniaków charakteryzowała się mniejszą zdolnością wiązania wody i mniejszą rozpuszczalnością w temperaturze 60 i 80°C, w porównaniu ze skrobią ziarniaków dojrzałych.
3. Kleiki skrobi pochodzącej z niedojrzałych zbóż odznaczały się większą lepkością maksymalną, w porównaniu z kleikami ze skrobi zbóż dojrzałych.
4. Kleiki skrobi z niedojrzałych zbóż wykazały małą stabilność lepkości podczas ogrzewania w temperaturze 96°C i znaczny wzrost lepkości po ochłodzeniu do temperatury 50°C.
5. Celem pozyskania skrobi o unikatowych właściwościach uzasadniony wydaje się wcześniejszy zbiór zboża, zwłaszcza we wczesno-woskowej fazie dojrzałości.

Literatura

- [1] Abou-Guendia M., D'Appolonia B.L.: Changes in carbohydrate components during wheat maturation. II. Changes in sugars, pentosans and starch. *Cereal Chem.*, **50**, 1973, 723-734.
- [2] Banks W., Muir D.D.: Structure and chemistry of starch granule. *Carbohydrate: Structure and function* (Preiss J., ed.) vol. 3, 321-366, In: *The biochemistry of plants* (Strumf P. K. and Conn E. E., eds). Academic Press, N. Y., 1980.
- [3] Chen Y.Y., McPherson E., Radosavljevic M., Lee M., Wong K. S., Jane J.: Effect of starch chemical structures on gelatinization and pasting properties. *Żywność. Technologia. Jakość*, **17**, 1998, 63-71.
- [4] D'Egidio M.G., Cecchini C., Pagani M.A., Lusicano M.: Caratterizzazione chimico-fisica di cariossidi di grano duro immature. *Tecnica molitoria*, 1996, 641-655.
- [5] D'Egidio M. G., Cecchini C., Corradini C., Domini V., Pignatelli V., Cerwigini T.: Innovative uses of cereals for fructose production, In: *Proceedings of Conference "Innovative Uses of Cereal Grains"*. Manchester UK, 1996.
- [6] Fornal Ł., Pierzynowska-Korniak G., Łysak J.: Soluble carbohydrates in immature wheat grain. *Pol. J. Food. Nutr. Sci.*, **9/50**, **2**, 2000, 13-16.
- [7] Gambuś H.: Wpływ fizyczno-chemicznych właściwości skrobi na jakość i starzenie się pieczywa (badania modelowe). *Zesz. Nauk. AR, Kraków, Rozprawy nr 226*, 1997.
- [8] Gambuś H., Fortuna T., Nowotna A.: Zależność fizykochemicznych właściwości skrobi pszenżytniej od sposobu jej wyodrębniania. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Technologia Żywności*, **6**, 1994, 97-105.
- [9] Gambuś H., Juszczak L., Achremowicz B.: Wpływ niskich dawek promieniowania gamma na fizykochemiczne właściwości skrobi zbożowych. *Zesz. Nauk. AR, Kraków, Technologia Żywności*, **7**, 1995, 31-34.
- [10] Gambuś H., Nowotna A.: Physicochemical properties of defatted triticale starch. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, **42**, 1992, 101-107.

- [11] Gambuś H., Zamroźniak-Ryś J., Achremowicz B.: Porównanie wybranych fizyczno-chemicznych właściwości skrobi zbożowych poddanych działaniu promieniowania jonizującego w stanie wyizolowanym lub zawartych w mące. *Zesz. Nauk. AR, Kraków, Technologia Żywności*, **9**, 1997, 55-66.
- [12] Gumul D.: Charakterystyka i możliwości zastosowania skrobi wyodrębnionej z niedojrzałych zbóż, praca doktorska, Akademia Rolnicza w Krakowie, Wydział Technologii Żywności, Katedra Technologii Węglowodanów, 2002.
- [13] ICC – Standards. Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology (ICC). Printed by ICC-Vienna, 1995.
- [14] Imberty A., Buléon A., Tran V., Pérez S.: Recent advances in knowledge of starch structure. *Starch/Stärke*, **43**, 1991, 375-384.
- [15] Jane J.: Structure of starch granules. VII International Starch Convention, Kraków, 1996, 207-216.
- [16] Kulp K.: Some properties of starches derived from wheat of varied maturity. *Cereal Chem.*, **50**, 1973, 496-503.
- [17] Leach H. W.: *Gelatinization of Starch W: Starch chemistry and technology*, ed. Whistler E. L., Paschall E. F., Academic Press, New York and London, vol. 1, 1965.
- [18] Łysak J., Majewska K., Fornal Ł., Gudaczewski W., Anioła J.: Charakterystyka frakcji węglowodanowej ziarna zbóż w niepełnej dojrzałości. *Materiały XXVIII Sesji Naukowej KTChŻ PAN, Gdańsk 1997*, s. 45.
- [19] Mazurs E. G., Schoch T. J., Kite F. E. : Graphical analysis of Brabender viscosity curves of various starches. *Cereal Chem.*, **34**, 1957, 141-152.
- [20] Morrison W. R., Law R. V., Snape C. E.: Evidence for inclusion complexes of lipids with V-amylose in maize, rice and oat starches. *J. Cereal Sci.*, **18**, 1993, 107-109.
- [21] Nowotna A.: Wpływ sposobu przygotowania skrobi pszenżytniej na jej właściwości oraz na charakterystykę frakcji rozpuszczalnej kleików skrobiowych. *Zesz. Nauk. AR, Kraków, Rozprawy 1996*, 214.
- [22] Park A., Lorenz K.: Physico-chemical properties of starches of maturing wheat, rye and triticale. *Technology*, **10**, 1977, 73-77.
- [23] Peleg M.: Mathematical characterization of the plasticizing and antyplasticizing effects of fructose on amylopectin. *Cereal Chem.*, **73**, 1996, 712-715.
- [24] Pfnannmüller B.: Struktura i właściwości skrobi, *Materiały IV Letniej Szkoły Skrobiowej – Problemy modyfikacji skrobi. Zawoja, 1992*, 63-78.
- [25] Praznik W., Schillinger H., Beck R. H.F.: Changes in the molecular composition of maize starch during kernel development. *Starch/Stärke*, **39**, 1987, 183-187.
- [26] Rahman S., Li Z., Batey I., Cochranet M. P., Appels R., Morell M.: Genetic alteration of starch functionality in wheat. *J. Cereal Sci.*, **31**, 2000, 91-110.
- [27] Richter M., Augustat S., Schierbaum F.: *Ausgewählte Methoden der Stärkechemie*. VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1969.
- [28] South J.B., Morrison W.R., Nelson O.E.A.: Relationship between the amylose and lipid contents of starches from various mutants for amylose content in maize. *J. Cereal Sci.*, **14**, 1991, 267-278.
- [29] Tester R.F., Morrison W.R.: Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose and lipids. *Cereal Chem.*, **67**, 1990, 551-557.
- [30] Tester R.F., Morrison W. R.: Swelling and gelatinization of cereal starches. II. Waxy rice starches. *Cereal Chem.*, **67**, 1990, 558-563.
- [31] Whistler R.L., BeMiller E., Paschall E.F.: *Starch: Chemistry and Technology*, Academic Press, Orlando, 1984.
- [32] Zobel H.F.: Molecules to granules: comprehensive starch review. *Starch/Stärke*, **40**, 1988, 44-50.

CHARACTERISTICS OF SWELLING AND GELATINIZATION OF STARCH FROM IMMATURE CEREALS

Summary

Starches were extracted by laboratory method from wheat, rye, barley harvested at different maturity and next dry matter, starch content in kernels were analysed. In addition, characteristics of the obtained starches, were determined i.e. water binding capacity, solubility in water at 60 and 80°C and pasting characteristics at Rheotest 2 viscosimeter. It was stated, that starch content in wheat, rye, barley kernels at early-waxy stage of maturity was over 55% of the kernel dry matter and increased during growth of the kernels. The yield of starch from immature kernel was equal to yield of starch from mature ones. Starch isolated from immature kernels had lower water binding capacity and solubility (at temperature 60 and 80°C) in comparison to starch from mature kernels. Pastes obtained from starch of immature kernels had higher maximum viscosity in comparison to pastes from mature ones. Starch pastes from immature cereals show low stability of viscosity during heating at 96°C and big increase of viscosity after colling to 50°C.

