

## **CHARAKTERYSTYKA ŻELI SPORZĄDZONYCH ZE SKROBI WYODRĘBNIONEJ Z NIEDOJRZAŁYCH ZBÓŻ**

Halina Gambuś, Dorota Gumul

Akademia Rolnicza w Krakowie

**Streszczenie.** Analizatorem tekstury TA-XT2 badano teksturę 10-procentowych żeli sporządzonych ze skrobi pszennej i żytniej wyodrębnionej z ziarna zebranego we wczesno- i późnowoskowej oraz pełnej fazie dojrzałości, oznaczając ich twardość i elastyczność. Wykazano, że żele ze skrobi pszennej wyizolowanej z ziarna pochodzącego z wczesnowoskowej fazy dojrzałości charakteryzowały się najbardziej pożądanymi cechami funkcjonalnymi: najmniejszą twardością i dużą stabilnością tej cechy niezależnie od temperatury przechowywania (8°C i 20°C). W obrębie jednej temperatury przechowywania żele te wykazały ponadto dużą stabilność elastyczności, w odróżnieniu od żeli przygotowanych ze skrobi pochodzącej z pszenicy dojrzałej.

**Słowa kluczowe:** skrobia pszenna i żytnia, fazy dojrzałości ziarna zbóż, żele, tekstura

### **WSTĘP**

Ziarno zbóż w stadium dojrzałości pełnej, jest jednym z najważniejszych surowców w gospodarce żywnościowej świata. Współczesne technologie uprawy i postęp genetyczny w hodowli odmian spowodowały wysoką produkcję ziarna zbóż w krajach Europy Zachodniej, większą niż potrzeby żywnościowe oraz niezbędne zapasy. Jest więc konieczne szukanie innych niż dotychczas możliwości wykorzystania ziarna zbóż, np. zbierając je z pola w stanie niedojrzałym. W badaniach ostatnich lat wykazano, że zboża w stadium niepełnej dojrzałości mogą być łatwo dostępnym źródłem wielu związków, których zawartość w dojrzałych ziarniakach wyraźnie się zmniejsza lub które tracą swoje unikatowe właściwości podczas dojrzewania ziarna [Hüebner i in. 1990, D'Egidio i in. 1995, 1996 a, b, Łysak i in. 1997, Fornal i in. 2000]. Dlatego też wydaje się celowe prowadzenie badań dotyczących tego surowca, ze szczególnym uwzględnieniem skrobi jako głównego składnika ziarna zbóż, biorąc pod uwagę to, że synteza

skrobi zaczyna się tuż po zapłodnieniu i przebiega głównie w pierwszych fazach rozwoju ziarniaków.

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 i retrogradacji skrobi [Biliaderis i in. 1980, Fredriksson i in. 1998].

Podczas schładzania kleiku skrobiowego zmniejsza się rozpuszczalność cząsteczek skrobi, które wykazują wówczas tendencję do tworzenia agregatów, czyli rejonów krystalicznych. Przy znacznych rozcieńczeniach kleików następuje wytrącanie się cząsteczek krystalicznych z roztworu, natomiast w wypadku wyższych koncentracji tworzą się siatki żelowe z cząsteczek polisacharydów.

Formowanie żelu jest zapoczątkowane tworzeniem się krystalicznych miceli zbudowanych z cząsteczek zarówno amylozy, jak i amylopektyny, które łączą się ze sobą poprzez wiązania wodorowe. Ze względu na rozbudowaną strukturę amylopektyny, krystalizacja jej cząsteczek jest częściowo hamowana i ograniczona do zewnętrznych rozgałęzień [Matsukura i in. 1983, Pfannemüller 1992].

Podczas przechowywania żele wykazują coraz większą tendencję do asocjacji molekuł, poprzez krzyżowe usieciowanie za pomocą wiązań wodorowych. Podczas dłuższego przechowywania ruch cząsteczek jest ograniczony, a połączenie ich za pomocą wiązań wodorowych następuje jedynie w punktach kontaktu. W miarę postępowania tego procesu czyli tzw. „starzenia się” żelu tworzą się w nim coraz większe rejony krystaliczne, żel kurczy się, twardnieje i wydziela się woda. Całą tę grupę zjawisk zachodzących podczas przechowywania kleiku czy żelu, a polegających na tworzeniu wiązań między cząsteczkami skrobi i prowadzących do wzrostu krystaliczności, nazywamy retrogradacją [Radley 1968, Matsukura i in. 1983]. Amyloza retrograduје łatwo już we wczesnym stadium przechowywania, po czym w sposób ciągły i dużo wolniej retrograduје amylopektyna [Radley 1968, Matsukura i in. 1983, Zhang i Jackson 1992].

Proces retrogradacji można badać za pomocą różnych wskaźników, do których należy między innymi postępujący wzrost twardości żelu podczas jego starzenia się [Krog i in. 1989, Inagaki i Seib 1992].

Retrogradacja skrobi jest zjawiskiem występującym podczas przechowywania produktów skrobiowych i jednym z głównych czynników powodujących pogorszenie jakości żywności, m.in. deserów i sosów na bazie skrobi lub w których skrobia jest zagęstnikiem.

Badania fizyczno-chemicznych właściwości skrobi wyodrębnionych z niedojrzałych zbóż wykazały, że skład skrobi podczas jej biosyntezy nie jest stały, lecz zmienia się w miarę dojrzewania: zawartość białka skrobiowego maleje [Hüebner i in. 1990, D'Egidio i in. 1995, Łysak i in. 1996], a zawartość fosforu i amylozy zwiększa się [Abou-Guendia i D'Appolonia 1973, Tester i Morrison 1993, D'Egidio i in. 1996 a, Gumul 2002 a]. Wraz ze zmianą składu chemicznego skrobi zmieniają się jej funkcjonalne właściwości takie, jak zdolność wiązania wody, rozpuszczalność w wodzie, lepkość kleików a także skłonność do retrogradacji [Gumul 2002 b, Gambuś i Gumul 2003, Gambuś i in. 2004].

Celem badań podjętych w tej pracy jest charakterystyka żeli utworzonych ze skrobi wyodrębnionej z niedojrzałego ziarna pszenicy i żyta.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Materiałem do badań były skrobie wyodrębnione z ziarna pszenicy (odmiany 'Almari') i żyta (odmiany 'Dańkowskie Złote'), które zbierano z pól Rolniczego Zakładu Doświadczalnego SGGW w Wilanowie w 1998. Zbiór ziarna dokonywano w różnych fazach jego dojrzałości (tab. 1).

Tabela 1. Zestawienie dat zbioru zbóż, z których wyodrębniano skrobie  
Table 1. 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
Wczesnowoskowa Earlywaxy	29.06.1998	29.06.1998
Późnowoskowa Latewaxy	06.07.1998	06.07.1998

W celu porównania te same zboża zebrano w fazie dojrzałości pełnej.

Pora zbioru następowała po około 30-40 dniach po kwitnieniu i była dobrana na podstawie oględzin sensorycznych tak, aby pierwszą próbkę zebrać w okresie dojrzałości wczesnowoskowej, a drugą w 7-10 dni później, czyli w okresie dojrzałości późnowoskowej. Kłosa żęto ręcznie, sierpem albo nożem, wraz z łodygą żdźbła o długości 20-40 cm i młócono w młocarce laboratoryjnej. W celu uzyskania homogeniczności masy ziarnowej, ziarno rozdrabniano w kutrze Instytutu Przemysłu Mięsnego i Tłuszczowego w Warszawie i natychmiast zamrażano do temperatury  $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Ziarno niedojrzałe przechowywano w opakowaniach próżniowych w stanie zamrożenia, aż do momentu wyodrębnienia z niego skrobi metodą laboratoryjną [Gambuś i in. 1994].

Ziarno dojrzałe poddawano mieleniu w młynku laboratoryjnym typu Quadrumat Junior i z uzyskanej mąki wyodrębniano skrobie [Gambuś i in. 1994].

Uzyskane próbki skrobi poddano następującym analizom:

1. **Przeprowadzono analizę chromatograficzną skrobi** używając chromatografii żelowej GPC. Zestaw do badań składał się z 4 kolumn o różnych wymiarach i wypełnieniach:

- kolumna 16 mm średnicy i 35 cm długości wypełniona żelem Sephacryl / Pharmacia / S-200,
- kolumna 16 mm średnicy i 88 cm długości wypełniona żelem Sephacryl / Pharmacia / S-200,
- kolumna 16 mm średnicy i 88 cm długości wypełniona żelem Sephacryl / Pharmacia / S-500,
- kolumna 16 mm średnicy i 86 cm długości wypełniona żelem Sephacryl / Pharmacia / S-1000.

Standardem były pullulany (Shodex Standard, Macherey – Nagel) w ilości po 5 mg P-10, 50, 200 i 800, o masach cząsteczkowych: 12,200, 48,000, 186,000 i 853,000 Da. Wymienione standardy rozpuszczano w  $2,5 \text{ cm}^3$  wody destylowanej i наносzono na kolumny [Praznik i in. 1983, Praznik i in. 1987]. Analizę chromatograficzną wykonano

w temperaturze pokojowej używając 0,003 M roztworu  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  jako eluentu (przy szybkości przepływu średnio  $16,5 \text{ cm}^3/\text{h}$ ) oraz refraktometru (RI) jako detektora. Z kolumn eluent przepływał przez detektor do kolektora frakcji, gdzie był rozdzielany na 130 frakcji o objętości średnio  $5 \text{ cm}^3$  każda. Przy każdym pomiarze uwzględniano inną objętość frakcji w stosunku do średniej.

Analiza frakcji uzyskanych po rozdziale chromatograficznym obejmowała:

– oznaczenie zawartości sumy węglowodanów metodą antronową – mierząc ekstynkcję przy długości fali  $\lambda = 540 \text{ nm}$  [Morris 1948],

– pomiar ekstynkcji kompleksu jodo-skrobiowego, przy dwóch długościach fal:  $\lambda = 525 \text{ nm}$  i  $640 \text{ nm}$  [Praznik i in. 1983],

– oznaczenie zawartości amylozy i amylopektyny w każdej frakcji uzyskanej z rozdziału chromatograficznego badanej próbki skrobi. Jako wskaźnik zawartości amylozy przyjmowano wartość niebieską, która jest definiowana jako absorpcja jodu rozcieńczonego w  $100 \text{ cm}^3$  wody przez  $10 \text{ mg}$  s.s. skrobi. Oblicza się ją ze wzoru:

$$W_n = \frac{E \cdot 10 \text{ mg}}{\text{s.s.}}$$

gdzie: E – odczytana ekstynkcja przy długości fali  $\lambda = 640 \text{ nm}$ ,

s.s. – zawartość suchej substancji w  $100 \text{ cm}^3$  roztworu pomiarowego (mg),

a jako suchą substancję przyjmowano zawartość sumy węglowodanów w każdej frakcji, oznaczoną metodą z antronem [Morris 1948], uwzględniając różną od  $5,0 \text{ cm}^3$  objętość frakcji,

– obliczenie wagowo średniej masy cząsteczkowej. Poprzez użycie standardów przyporządkowano odpowiednią masę cząsteczkową każdej frakcji uzyskanej z chromatografu żelowego. Na podstawie tej zależności, jak również zawartości sumy węglowodanów w każdej frakcji danej próbki skrobi obliczano wagowo średnią masę cząsteczkową ( $\overline{M}_w$ ).

**2. Oznaczono stopień retrogradacji 1-procentowych wodnych kleików skrobiowych** przechowywanych w temp.  $20^\circ\text{C}$ ,  $8^\circ\text{C}$  i  $-20^\circ\text{C}$ , metodą Whistlera [1964] z modyfikacją własną, polegającą na pomiarze ekstynkcji kompleksu jodo-skrobiowego utworzonego przez amylozę zawartą w supernatancie, po odwirowaniu kleików w dniu zerowym oraz po 24, 48 i 72 godzinach przechowywania. Ekstynkcję roztworu z jodem mierzono w spektrofotometrze Specord M42 firmy Carl Zeiss przy długości fali  $\lambda = 635 \text{ nm}$ .

Stopień retrogradacji wyrażony w procentach liczono ze wzoru:

$$100\% - \frac{\text{Ekstynkcja z jodem w kolejnym dniu}}{\text{Ekstynkcja z jodem w dniu zerowym}} \times 100\%$$

gdzie: dzień zerowy – dzień sporządzenia kleiku.

**3. Oznaczono teksturę 10-procentowych wodnych żeli skrobiowych** analizatorem tekstury TA-XT2 z oprogramowaniem XTR1. Kleiki skrobiowe o stężeniu 10-procentowym przygotowywano w naczyniu pomiarowym amylografu Brabendera, ogrzewając zawiesinę skrobiową do temp  $96^\circ\text{C}$  i przetrzymując kleiki w tej temperaturze przez 5 min. Następnie gorące kleiki rozlewano do zlewek, przechowywano w temp. pokojowej ( $20^\circ\text{C}$ ) i lodówce (temp.  $8^\circ\text{C}$ ) i utworzone żele badano po 24, 48 i 72 godzinach

przechowywania (w temp. 8°C nawet po 96 godzinach), oznaczając następujące parametry tekstury:

- **twardość** – siłę potrzebną do uzyskania deformacji próbki,
- **elastyczność** – stopień w jakim zdeformowana próbka powraca do stanu poprzedniego kiedy siła odkształcająca ustąpi,
- **siłę potrzebną do skruszenia**, czyli złamania struktury żeli.

Parametry statystyczne oznaczenia parametrów tekstury 10-procentowych żeli skrobiowych są następujące:

– w oznaczeniu twardości żeli w temp. 20°C odchylenie standardowe  $s_0 = 0$ , współczynnik zmienności  $v = 2,2\%$ , w temp. 8°C odchylenie standardowe  $s_0 = 0$ , współczynnik zmienności  $v = 2\%$ ,

– w oznaczeniu elastyczności żeli w temp. 20°C odchylenie standardowe  $s_0 = 0$ , współczynnik zmienności  $v = 9,26\%$ , w temp. 8°C odchylenie standardowe  $s_0 = 0$ , współczynnik zmienności  $v = 7,12\%$ .

## WYNIKI I DISKUSJA

Wyniki zamieszczone w tabeli 4 wskazują, że największą twardość miały żele sporządzone ze skrobi wyizolowanej z dojrzałej pszenicy i żyta przechowywane zarówno w temperaturze pokojowej (20°C), jak i w lodówce (8°C) już po 24 h przechowywania. Najmniejszą twardością charakteryzowały się natomiast żele sporządzone ze skrobi wyizolowanej z ziarna zebranego w fazie dojrzałości wczesnowoskowej. W miarę upływu czasu przechowywania twardość uzyskanych żeli zwiększała się, ponieważ następowało w nich coraz większe usieciowanie cząsteczek za pomocą wiązań wodorowych, a także wzrost rejonów krystalicznych skrobi [Radley 1968, Matsukura i in. 1983]. Tak więc postępujący wzrost twardości żeli jest wskaźnikiem postępującego procesu retrogradacji amylozy i amylopektyny [Radley 1968]. Duży wzrost twardości żelu ze skrobi wyodrębnionej z dojrzałych ziarniaków jest potwierdzeniem dużego stopnia jej retrogradacji (tab. 3), natomiast dużo mniejsza twardość żeli sporządzonych ze skrobi wyizolowanej z ziarniaków niedojrzałych jest potwierdzeniem jej kilkukrotnie mniejszej skłonności do tej zmiany.

Prawdopodobnie większa twardość żeli ze skrobi „dojrzałej”, już po pierwszej dobie przechowywania, jest spowodowana większą rekrytalizacją amylozy, która w tej skrobi występuje w większej ilości niż w „niedojrzałej” (tab. 2), a po trzech i czterech dobach przechowywania współkrystalizacją obu polimerów skrobiowych: amylozy i amylopektyny [Russel 1983]. Wielu autorów wyjaśnia bowiem, że choć tylko niewielka część skrobi (prawdopodobnie 15%) występuje w formie krystalicznej, a reszta pozostaje amorficzna, już ta mała krystaliczność może zwiększać twardość kleiku skrobiowego, z powodu włączenia w strukturę cząsteczek o dużej masie cząsteczkowej. Jedna cząsteczka skrobi może rozciągać się przez kilka obszarów krystalicznych i rejonów amorficznych, tworząc trójwymiarową sieć połączoną obszarami krystalicznymi [Zobel 1973, Kim i D'Appolonia 1977 a].

Z większą twardością żeli ze skrobi wyizolowanej z dojrzałych zbóż jest związana większa siła potrzebna do złamania ich struktury, np. łyżeczką. W pomiarach tekstury ten parametr jest określany jako siła potrzebna do skruszenia struktury. Ponieważ wyniki dotyczące pomiarów tej siły były identyczne z pomiarami twardości, dlatego nie zamieszczono ich w tabeli 4. Na podstawie tych pomiarów można jednakże wyciągnąć

wniosek, że parametry te są ze sobą ściśle związane, a twardość żeli określa jednocześnie ich „delikatność”. Im większa twardość, tym większa siła potrzebna do złamania (skruszenia) ich struktury, a więc tym mniejsza ich „delikatność”.

Tabela 2. Wartości wagowo średniej ( $\bar{M}_w$ ) masy cząsteczkowej oraz stosunek amylozy do amylopektyny w skrobiach wyodrębnionych ze zbóż w różnych fazach dojrzałości

Table 2. Values of weight-average molecular weight and ratio of amylose to amylopectin in starches from kernels at different stages of maturity

Pochodzenie skrobi Source of starch	Faza dojrzałości Stage of kernel maturity	Amyloza Amylose %	Amylopektyna Amylopectin %	AM- $\bar{M}_w$ weight-average molecular weight of amylose g/mol	AP- $\bar{M}_w$ weight-average molecular weight of amylopectin g/mol
Pszennica Wheat	wczesnowoskowa earlywaxy	8	92	$2,6 \times 10^5$	$5,4 \times 10^6$
	późnowoskowa latewaxy	15	85	$2,0 \times 10^6$	$6,2 \times 10^6$
	pełna full	20	80	$1,4 \times 10^6$	$6,7 \times 10^6$
Żyto Rye	wczesnowoskowa earlywaxy	16	84	$4,1 \times 10^5$	$8,2 \times 10^6$
	późnowoskowa latewaxy	18	82	$1,0 \times 10^6$	$8,2 \times 10^6$
	pełna full	18	82	$7,6 \times 10^5$	$8,3 \times 10^6$

Tabela 3. Stopień retrogradacji 1-procentowych wodnych kleików skrobi pszennej i żytniej, wyizolowanych z niedojrzałych ziarniaków, %

Table 3. Degree of retrogradation 1% pastes of wheat, rye starches derived from immature kernels, %

Pochodzenie skrobi Source of starch	Faza dojrzałości Stage of kernel maturity	20°C			8°C			-20°C
		po 24 h after 24 h	po 48 h after 48 h	po 72 h after 72 h	po 24 h after 24 h	po 48 h after 48 h	po 72 h after 72 h	po 24 h after 24 h
Pszennica Wheat	wczesnowoskowa earlywaxy	0,22	0,67	5,48	1,12	2,35	7,18	71,00
	późnowoskowa latewaxy	2,21	3,00	5,02	11,82	12,45	15,47	81,00
	pełna full	8,11	11,22	30,00	26,50	36,70	44,70	83,23
Żyto Rye	wczesnowoskowa earlywaxy	0,15	0,57	11,57	38,73	41,17	41,36	84,24
	późnowoskowa latewaxy	1,57	6,06	14,16	30,18	39,99	41,23	84,33
	pełna full	22,93	28,32	35,47	49,69	56,57	57,86	96,18

Ponadto ważną cechą żeli sporządzonych ze skrobi pszennej wyodrębnionej z wczesnowoskowej fazy dojrzałości jest duża stabilność ich twardości, niezależnie od temperatury przechowywania. Zarówno w temperaturze 20°C, jak i w lodówce (w temperaturze 8°C) żele te charakteryzowały się zbliżoną twardością, która wykazywała niewielki wzrost dopiero po 96 h (4 dobach) przechowywania w lodówce. Żele sporządzone ze skrobi wyizolowanej z pszenicy zebranej w późnowoskowej fazie dojrzałości oraz ze skrobi z pszenicy dojrzałej wykazywały stałą tendencję do wzrostu twardości, w miarę upływu czasu przechowywania (tab. 4).

Tę ważną praktyczną cechę, stabilność żeli w różnych temperaturach, w przypadku żeli skrobiowych ze skrobi wyodrębnionej ze zbioru z najwcześniejszego terminu należy wiązać z większą zawartością amylopektyny w tej skrobi, w porównaniu ze skrobią z pszenicy dojrzałej. Jak wykazały badania molekularnych właściwości skrobi pszennej, prowadzone na kolumnach chromatograficznych, skrobia wyodrębniona z ziarniaków zebranych z pola w fazie dojrzałości wczesnowoskowej składała się w 92% z amylopektyny natomiast zawartość tego polimeru w skrobi z pszenicy dojrzałej jest o 12% mniejsza (tab. 2). Stabilność żeli i roztworów amylopektynowych jest już znana z badań wcześniejszych [Zobel 1988, Gidley 1989, Leloup i in. 1992, Pfanmüller 1992]. Ponadto w żelach amylopektynowo-amylozowych rozgałęzione cząsteczki ograniczają zdolność amylozy do tworzenia długich, podwójnych helis i formowania krystalicznych agregatów, zmniejszając tym samym twardość żelu, a zwiększając jego stabilność [Sievert i Würsch 1993, Klucinec i Thompson 1999, Rahman i in. 2000].

Żele sporządzone ze skrobi żytniej, wyodrębnionej z ziarna zebranego we wczesnowoskowej fazie dojrzałości, wykazały mniejszą stabilność twardości w porównaniu z żelami ze skrobi z pszenicy z tej samej fazy dojrzałości. Po 72 h przechowywania w temperaturze 20°C ich twardość wzrosła już w sposób widoczny, a ponadto wystąpiły duże różnice w twardości tych żeli, zależnie od temperatury ich przechowywania. Związane jest to z wyraźnie większą zawartością amylozy, oznaczoną w tych skrobiach w fazie dojrzałości wczesnowoskowej, w porównaniu ze skrobią pszeną (tab. 2), co wpływa również na dużo większą skłonność do retrogradacji 1-procentowych wodnych kleików tej skrobi, właśnie po 72 h przechowywania w temperaturze 20°C oraz podczas przechowywania w temperaturze 8°C (w lodówce) (tab. 3).

Z dużą zawartością amylopektyny w skrobi pszennej, wyodrębnionej z ziarna zebranego w fazie wczesnowoskowej, związana jest nie tylko stabilność twardości żeli sporządzonych z tej skrobi w porównaniu ze skrobią pszenicy dojrzałej, ale także duża stabilność elastyczności tych żeli w obrębie jednej temperatury przechowywania. W odróżnieniu od twardości, obserwuje się jednak widoczny wzrost elastyczności podczas przechowywania w lodówce, w porównaniu z żelami przechowywanymi w temperaturze pokojowej. Wraz ze wzrostem zawartości amylozy w skrobi pszennej, podczas przechodzenia od fazy wczesnowoskowej do dojrzałości pełnej (tab. 2), maleje stabilność elastyczności badanych żeli skrobiowych podczas przechowywania (tab. 4).

Analizując elastyczność żeli sporządzonych ze skrobi żytniej, wyodrębnionej z ziarniaków zebranych we wczesnowoskowej fazie dojrzałości, obserwuje się, podobnie jak w wypadku skrobi pszennej, większą elastyczność żeli przechowywanych w lodówce, w temperaturze 8°C, w porównaniu z żelami przechowywanymi w temperaturze pokojowej. Daje się jednak zauważyć postępujące zmniejszenie elastyczności w miarę wzrostu twardości żeli podczas przechowywania. Związane jest to zarówno ze wzrostem zawartości amylozy w skrobi, jak i wzrostem długości jej łańcuchów (tab. 2). Jest to

Tabela 4. Parametry profilu tekstury żeli sporządzonych ze skrobi pszennej i żytniej, pochodzącej z ziarna zebranego w różnych fazach dojrzałości  
 Table 4. Parameters of texture profile for gels prepared from wheat and rye starch isolated from kernels harvested at different stages of maturity

Pochodzenie skrobi Source of starch	Faza dojrzałości Stage of kernel maturity	Twardość – Hardness (kG)						Elastyczność – Resilience							
		20°C			8°C			20°C			8°C				
		24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	96 h	
Pszenica Wheat	wczesnowoskowa earlywaxy	0,338	0,335	0,340	0,337	0,337	0,337	0,391	0,106	0,102	0,103	0,147	0,145	0,147	0,148
	późnowoskowa latewaxy	0,342	0,350	0,364	0,399	0,415	0,435	0,447	0,125	0,090	0,094	0,172	0,119	0,108	0,101
	pełna full	0,442	0,456	0,472	0,455	0,486	0,488	0,514	0,172	0,100	0,073	0,150	0,115	0,117	0,116
Żyto Rye	wczesnowoskowa earlywaxy	0,303	0,317	0,417	0,438	0,433	0,429	0,457	0,105	0,103	0,067	0,149	0,148	0,135	0,131
	późnowoskowa latewaxy	0,364	0,374	0,431	0,435	0,433	0,445	0,485	0,084	0,068	0,147	0,047	0,104	0,087	0,119
	pełna full	0,425	0,472	0,507	0,529	0,613	0,615	0,635	0,108	0,102	0,059	0,171	0,152	0,177	0,185



zgodne z wcześniejszymi badaniami, w których udowodniono, że jedna cząsteczka amylozy może się rozciągać przez kilka obszarów krystalicznych, zwiększając w ten sposób sztywność żeli [Kim i D'Appolonia 1977 b, Inagaki i Seib 1992].

W żelach sporządzonych ze skrobi żytniej wyodrębnionej z ziarna zebranego w późnowoskowej i pełnej fazie dojrzałości zaobserwowano wprost proporcjonalną zależność pomiędzy twardością i elastycznością żeli; w miarę wzrostu twardości żelu wzrasta jego elastyczność. Tę zależność trudno jest wyjaśnić, zwłaszcza, że „dojrzała” skrobia żytnia wykazała bardzo dużą skłonność do retrogradacji (tab. 3), co powinno usztywnić żel i zmniejszyć elastyczność. Być może jest to związane ze wspólną krystalizacją amylozy i amylopektyny, co z kolei może powodować inną strukturę żelu niż w wypadku żeli utwardzonych głównie przez rekrytalizację samej amylozy. Dowodem słuszności takiego rozumowania może być znacznie większa (około dwukrotnie) rozpuszczalność w wodzie „dojrzałej” skrobi żytniej w porównaniu z „dojrzałą” skrobią pszenną w temperaturze 80°C [Gumul 2000 b], co może wskazywać na wpływ z ziarenek podczas kleikowania również krótszych łańcuchów amylopektyny.

Podsumowując powyższe badania można stwierdzić, że choć żele ze skrobi „niedojrzałej” nie różniły się wizualnie od żeli sporządzonych ze skrobi wyodrębnionej ze zbóż dojrzałych, to jednak charakteryzowały się bardziej pożądanymi cechami funkcjonalnymi, tj. delikatniejszą teksturą, czyli mniejszą twardością i mniejszą siłą potrzebną do zniszczenia ich struktury. Ponadto żele sporządzone z „niedojrzałej” skrobi pszennej wyodrębnionej z ziarna zebranego we wczesnowoskowej fazie dojrzałości charakteryzowały się dużą stabilnością ich twardości, niezależnie od temperatury przechowywania, a w obrębie jednej temperatury wykazały dużą stabilność elastyczności.

Wydaje się więc, że można je polecać jako naturalne stabilizatory tekstury w miejsce stosowanej dotychczas skrobi modyfikowanej.

W związku z tym, aby uzyskać skrobię pszenną o większej zawartości amylopektyny i mniejszej skłonności do retrogradacji, zapewniającą otrzymanie żeli o wyżej wymienionych, pożądanach cechach, uzasadniony wydaje się wcześniejszy zbiór tego zboża, który gwarantuje taką skrobię.

## WNIOSKI

1. Najniższy stopień retrogradacji oznaczono w skrobi wyodrębnionej z ziaren zebranych we wczesnowoskowej fazie dojrzałości

2. Żele sporządzone ze skrobi pszennej i żytniej, wyizolowanej z ziarna zebranego w fazie dojrzałości wczesno- i późnowoskowej, nie różniły się wizualnie od żeli sporządzonych ze skrobi wyodrębnionej ze zbóż dojrzałych, ale charakteryzowały się delikatniejszą teksturą, czyli mniejszą twardością i mniejszą siłą była potrzebna do zniszczenia ich struktury.

3. Żele sporządzone z niedojrzałej skrobi pszennej, wyodrębnionej z ziarna zebranego we wczesnowoskowej fazie dojrzałości, charakteryzowały się dużą stabilnością ich twardości, niezależnie od temperatury przechowywania.

4. W tej samej temperaturze przechowywania żele ze skrobi wyizolowanej z pszenicy zebranej we wczesnowoskowej fazie dojrzałości wykazały dużo większą stabilność elastyczności niż żele przygotowane ze skrobi pochodzącej z pszenicy dojrzałej.

5. W żelach sporządzonych ze skrobi żytniej, wyodrębnionej z ziarniaków zebranych we wczesnowoskowej fazie dojrzałości, daje się zauważyć postępujące zmniejszenie elastyczności w miarę wzrostu twardość żeli podczas ich przechowywania w obu stosowanych temperaturach.

## PIŚMIENNICTWO

- Abou-Guendia M., D'Appolonia B.L., 1973. Changes in carbohydrate components during wheat maturation. II. Changes in sugars, pentosans and starch. *Cereal Chem.* 50, 723-734.
- Biliaderis C.G., Maurice T.J., Vose J.R., 1980. Starch Gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. *J. Food Sci.* 45, 1669-1678.
- D'Egidio M.G., Cecchini C., Chienese L., Pugliano G., Laezza P., Cappucio U., Pagani M.A., 1995. Physicochemical characterization of protein and starch in durum wheat immature grains. W: *Proceedings Conference "The Role of Cereals in future Nutrition"*. Vienna.
- D'Egidio M.G., Cecchini C., Pagani M.A., Lusitano M., 1996 a. Caratterizzazione chimico-fisica di cariossidi di grano duro immature. *Tecnica molitoria*, 641-655.
- D'Egidio M.G., Cecchini C., Corradini C., Domini V., Pignatelli V., Cerwigini T., 1996 b. Innovative uses of cereals for fructose production. W: *Proceedings Conference "Innovative Uses of Cereal Grains"*. Manchester, UK.
- Fornal Ł., Pierzynowska-Korniak G., Łysak J., 2000. Soluble carbohydrates in immature wheat grain. *Pol. J. Food. Nutr. Sci.* 9/50, 2, 13-16.
- Fredriksson H., Silverio J., Andersson R., Eliasson A-C., Aman P., 1998. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starch. *Carbohydr. Polym.* 35, 119-134.
- Gambuś H., Fortuna T., Nowotna A., 1994. Zależność fizyko-chemicznych właściwości skrobi pszenżytniej od sposobu jej wyodrębniania. *Zesz. Nauk. AR Krak. Technol. Żywn.* 6, 97-105.
- Gambuś H., Gumul D., 2003. Retrogradacja skrobi wyizolowanej z niedojrzałych ziarniaków zbóż. *Żywn. Nauka Technol. Jakość* 2(35), 27-41.
- Gambuś H., Gumul D., Juszcak L., 2004. Rheological properties of pastes obtained from starches derived from immature cereal kernels. *Stärke* [w druku].
- Gidley M.J., 1989. Molecular mechanisms underlying amylose aggregation and gelation. *Macromolecules* 22, 351-358.
- Gumul D., 2002 a. Charakterystyka i możliwości zastosowania skrobi wyodrębnionej z niedojrzałych zbóż. *Maszyn. Katedry Technologii Węglowodanów AR Kraków*.
- Gumul D., 2002 b. Charakterystyka pęcznienia i kleikowania skrobi pochodzącej z niedojrzałych zbóż. *Żywn. Nauka Technol. Jakość* 3(32), 88-100.
- Huebner F.R., Kączkowski J., Bietz J.A., 1990. Quantitative Variation of Wheat Proteins from Grain at Different Stages of Maturity and from Different Spike Locations. *Cereal Chem.* 67, 464-470.
- Inagaki T., Seib P.A., 1992. Firming of bread crumb with cross-linked waxy barley starch substituted for wheat starch. *Cereal Chem.* 69, 321-325.
- Kim S.K., D'Appolonia B.L. 1977 a. The role of wheat flour constituents in bread staling. *Bakers Digest* 51, 38-44.
- Kim S.K., D'Appolonia B.L., 1977 b. Effect of pentosans on the retrogradation of wheat starch gels. *Cereal Chem.* 54, 150-156.
- Klucinec J.D., Thompson D.B., 1999. Amylose and amylopectin interact in retrogradation of dispersed high-amylose starches. *Cereal Chem.* 76, 282-291.
- Krog N., Olesen S.K., Toernaes H., Joensson T., 1989. Retrogradation of the starch fraction in wheat bread. *Cereal Foods World* 34, 282-285.
- Leloup V.M., Colonna P., Ring S.G., Roberts K., Wells B., 1992. Microstructure of amylose gels. *Carbohydr. Polym.* 18, 189-197.

- Lysak J., Fornal L., Gambus H., Gruchała L., Panasik M., Piór H., 1996. Preliminary studies on the quality and usability of wheat in early stages of kernel maturity. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 5/46, 68-74.
- Lysak J., Majewska K., Fornal L., Gudaczewski W., Anioła J., 1997. Charakterystyka frakcji węglowodanowej ziarna zbóż w niepełnej dojrzałości. W: *Mater. 28 Sesji Naukowej KTiChŻPAN, Gdańsk*, 45.
- Matsukura V., Matsunaga A., Kainuma K., 1983. Structural studies on retrograded normal and waxy corn starches. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.* 30, 106-111
- Morris D.L., 1948. Quantitative determination of carbohydrates with dreywoods anthrone reagent. *Science* 107, 254-255.
- Pfannemüller B., 1992. Struktura i właściwości skrobi. W: *Mater. 4. Letniej Szkoły Skrobiowej „Problemy modyfikacji skrobi”*. Zawoja, 1-5 czerwca 1992, 63-78.
- Praznik W., Beck R.H.F., Eigner W., 1987. New high-performance gel permeation chromatographic system the determination of low-molecular-weight amyloses. *J. Chromatography* 387, 467-472.
- Praznik W., Smidt S., Ebermann R., 1983. Gelchromatographische Untersuchungen an hydrolytisch abgebauten Amylosen. *Stärke* 35, 58-61.
- Radley J.A., 1968. *Starch and its derivatives*. Chapman and Hall LTD London.
- Rahman S., Li Z., Batey I., Cochranet M.P., Appels R., Morell M., 2000. Genetic Alteration of Starch Functionality in Wheat. *J. Cereal Sci.* 31, 91-110.
- Russel P.L., 1983. A kinetic study of bread staling by differential scanning calorimetry and compressibility measurements. The effect of added monoglyceride. *J. Cereal Sci.* 1, 297-303.
- Sievert D., Würsch P., 1993. Amylose Chain Association Based on Differential Scanning Calorimetry. *Food Sci.* 58, 1332-1334.
- Tester R.F., Morrison W.R., 1993. Swelling and Gelatinization of Cereal Starches. VI. Starches from Waxy Hector and Hector Barleys at four stages of Grain Development. *J. Cereal Sci.* 17, 11-18.
- Whistler R.L., 1964. *Methods in carbohydrate chemistry*. Academic Press New York, 150-152.
- Zhang W., Jackson D.S., 1992. Retrogradation Behavior of Wheat Starch Gels with Differing Molecular Profiles. *J. Food Sci.* 57, 1428-1432.
- Zobel H.F., 1973. A review of bread staling. *Bakers Digest* 47, 52-61.
- Zobel H.F., 1988. Molecules to granules: comprehensive starch review. *Stärke* 40, 44-50.

#### CHARACTERISTICS OF GELS MADE UP OF STARCH ISOLATED FROM IMMATURE CEREALS

**Abstract.** TA-XT2 texture analyser was used to check hardness and resilience of 10 gels prepared from wheat and rye starch isolated at early- and latewaxy stages of development and at full maturity. It was found that gels made of starch obtained from earlywaxy kernels revealed the most desirable functional features: the lowest and stable hardness, regardless of storage temperature (8°C and 20°C). At chosen storage temperature the gels were characterised by stable resilience in contrast to those prepared from starch isolated from mature wheat.

**Key words:** wheat and rye starch, stages of maturity of kernels, gels, texture

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 11.03.2004 r.*

**Do cytowania - For citation:** *Gambuś H., Gumul D., 2004. Charakterystyka żeli sporządzonych ze skrobi wyodrębnionej z niedojrzałych zbóż. Acta Sci. Pol., Technol. Aliment. 3(1), 33-43.*