

Anna SZAFRAŃSKA

e-mail: anna.szafanska@ibprs.pl

Zakład Przetwórstwa Zbóż i Piekarstwa, Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego, Warszawa

## Praktyczne aspekty wykorzystania *Mixolabu* w ocenie jakości ziarna pszenicy i żyta uprawianego w Polsce

### Wstęp

Ocena jakości ziarna pszenicy i żyta w punkcie przyjęcia do magazynu wymaga szybkiego określenia jego wartości technologicznej w aspekcie właściwości białka i skrobi. W ocenie ziarna pszenicy najczęściej wykonywane jest oznaczenie ilości i jakości białek glutenowych oraz liczby opadania. Jakość ziarna żyta określana jest za pomocą mniejszej liczby wyróżników. Przy ocenie wartości wypiekowej żyta nie uwzględnia się oceny cech białka, ponieważ w cieście żytnim w trakcie mieszenia nie tworzy się usieciowana, trójwymiarowa struktura białkowa. Szczególną rolę w kształtowaniu właściwości wypiekowych mąki żytniej odgrywa natomiast stan skrobi, aktywność amylolityczna oraz zawartość pentozanów [Gąsiorowski, 1993].

Poszczególne wyróżniki jakościowe takie jak np. zawartość białka czy liczba opadania należą do pośrednich metod oceny jakości ziarna pszenicy i żyta i nie zawsze pozwalają na wystarczające określenie ich jakości. Do pełnej charakterystyki tych surowców wykorzystywane są metody badania właściwości reologicznych ciasta. Zaletą tej oceny jest badanie ciasta w warunkach zbliżonych do warunków przemysłowej produkcji pieczywa, co pozwala na dokładniejsze wnioskowanie o właściwościach wypiekowych mąki. Wadą metod reologicznych jest jednak ich czasochłonność oraz brak możliwości uzyskania kompleksowej charakterystyki jakościowej przy wykonywaniu badań za pomocą jednego urządzenia. Ocena właściwości reologicznych ciasta pszennego za pomocą farinografu czy alveografu, w punkcie przyjęcia ziarna do magazynu, wymaga przeprowadzenia próbnego przemiatu laboratoryjnego poprzedzonego kilkunastogodzinnym kondycjonowaniem ziarna. Ponadto, za pomocą wspomnianych urządzeń nie ma możliwości wykonania oceny cech reologicznych ciasta żytniego.

Za pomocą *Mixolabu*, wprowadzonego na rynek w 2004 roku przez francuską firmę *Chopin Technologies*, określane są właściwości reologiczne ciasta jednocześnie w zakresie kompleksu białkowego jak i skrobiowego. Oznaczenie może być wykonane zarówno dla śruty pszennej, jak i żytniej bezpośrednio po rozdrobieniu ziarna, z pominięciem kondycjonowania ziarna, co znacząco skraca czas uzyskania wyników. W zależności od zastosowanego rozdrabniacza laboratoryjnego i ustawienia walców w młynie laboratoryjnym lub przemysłowym uzyska się różny stopień uszkodzenia ziarenek skrobi. Jednakże liczne publikacje [Stoescu i in., 2010; Szafranska, 2010] wskazują, że na podstawie oceny cech ciasta uzyskanego z ześrutowanego ziarna można z dużą dokładnością wnioskować o cechach ciasta z mąki otrzymanej z przemiatu laboratoryjnego tego ziarna. Jest to szczególnie ważne w punkcie przyjęcia ziarna do magazynu zbożowego, w którym zastosowanie takiej oceny umożliwi bardziej dokładne segregowanie ziarna w poszczególnych komorach magazynu ze względu na jego jakość i znacznie skróci czas oczekiwania na wynik końcowy. Ze względu na małą próbkę niezbędną do wykonania badania (ok. 50 g śruty), *Mixolab* nadaje się do zastosowania również we wczesnych etapach hodowli nowych odmian pszenicy i żyta [Peña i in., 2007].

Charakterystyka działania aparatu *Mixolab* oraz możliwości wykorzystania tego urządzenia w przemyśle zbożowo-młynarskim i piekarskim są szeroko opisane w wielu zagranicznych publikacjach [Koksel i in., 2009; Banu i in., 2010; Stoescu i in., 2010]. Dane dotyczące oceny jakości ziarna zbieranego w Polsce są natomiast nieliczne [Szafranska, 2011a; 2013]. Wydaje się więc konieczne aby użytkownikom tego urządzenia w Polsce dostarczyć szerszej informacji dotyczącej zróżnicowania wyników uzyskiwanych w ocenie jakości śruty całoziarnowej otrzymanej z ziarna pszenicy i żyta uprawianego w kraju.

Celem pracy było określenie zróżnicowania parametrów odczytywanych z wykresu w zależności od rodzaju badanego zboża oraz wyznaczenie zależności między wyróżnikami jakościowymi tradycyjnie stosowanymi w ocenie jakości ziarna pszenicy i żyta uprawianego w Polsce a parametrami uzyskanymi z *Mixolabu*.

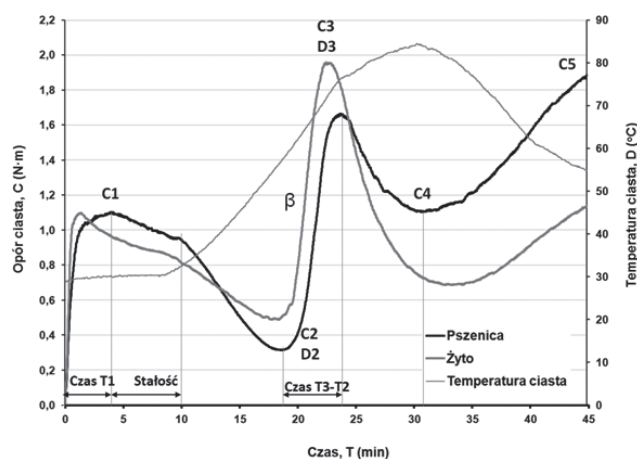
### Materiał i metody

**Materiał badawczy** stanowiło 15 próbek ziarna pszenicy (odmiany: *Bombona* – pszenica jara oraz *Ludwig* i *Muszelka* – pszenica ozima) dostarczonych z *Ośrodków Doradztwa Rolniczego* oraz 15 próbek ziarna żyta z magazynów zbożowych. Próbkę pochodziły z ziarna uprawianego na terenie województw: Zachodnio-Pomorskiego, Wielkopolskiego, Kujawsko-Pomorskiego, Podlaskiego, Mazowieckiego, Łódzkiego, Lubelskiego i Opolskiego). Ziarno rozdrobiono za pomocą rozdrabniacza laboratoryjnego *Lab Mill 3100* o średnicy oczek sita 0,8 mm.

**Oznaczenia.** W uzyskanej śrucie całoziarnowej oznaczono poniższe cechy:

- zawartość białka (Nx5,7 pszenica; Nx6,25 żyto) wg [PN-EN ISO 20483:2007],
- liczbę opadania wg [PN-EN ISO 3093:2010],
- barwę – za pomocą trójbodźcowego kolorymetru *Minolta CR-310* stosując system pomiarowy  $L^*a^*b^*$ .

Właściwości reologiczne ciasta za pomocą *Mixolabu* oznaczono wg [ISO 17718:2013] zgodnie z protokołem *Chopin Wheat+* w przypadku pszenicy oraz protokołem *Chopin+* w przypadku żyta. Badanie cech reologicznych ciasta ze śruty pszennej i żytniej przebiegało dwuetapowo. W pierwszym etapie wyznaczono wodochłonność śruty, odpowiadającą konsystencji ciasta w punkcie C1 wynoszącej  $1,1 \pm 0,05$  N·m. W drugim etapie badano zmiany cech ciasta podczas jego tworzenia i dalszego mieszenia w zmiennych warunkach temperatury w czasie 45 min [Dubat 2010]. Na wykresie (Rys. 1), rejestrowane są zmiany oporu ciasta stawiane mieszadłem podczas mieszenia ciasta.



Rys. 1. Wykresy uzyskane za pomocą *Mixolabu* dla śruty pszennej i żytniej

W pierwszej fazie, trwającej 8 min, przy stałej temperaturze ciasta (30°C), określane są właściwości ciasta podczas jego tworzenia.

W fazie drugiej, w trakcie dalszego mieszenia i jednocześnie wzrostu temperatury o  $4^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  następuje zmniejszenie oporu ciasta. W momencie kiedy temperatura osiągnie poziom temperatury początkowej kleikowania D2 (faza 3), rozpoczyna się kleikowanie skrobi, co na wykresie przejawia się wzrostem oporu ciasta.

W fazie czwartej dalszy wzrost temperatury do 90°C powoduje upłynianie kleiku skrobiowego i tym samym zmniejszanie oporu ciasta stawanego mieszadłem.

Obniżanie temperatury do 50°C w fazie piątej powoduje rekrystalizację amylozy, co na wykresie przejawia się wzrostem oporu ciasta określanym mianem retrogradacji. Przebieg wykresu w fazie trzeciej, czwartej i piątej odzwierciedla właściwości skrobi [Koksel i in., 2009; Dubat, 2010].

Wyznaczono wodochłonność śruty, a z wykresu (Rys. 1) odczytano następujące parametry: czas rozwoju ciasta (Czas T1), stałość, opór ciasta w punktach charakterystycznych wykresu (C2, C3, C4, C5, różnica C1-C2), wskaźnik  $\beta$ , temperatura początkowa i końcowa kleikowania skrobi (odpowiednio D2 i D3), czas kleikowania skrobi (różnica czasu T3 i T2).

**Istotność różnic pomiędzy cechami ziarna pszenicy i żyta** wyznaczono przy wykorzystaniu testu *t-Tukey'a*. W celu określenia zależności pomiędzy poszczególnymi cechami jakościowymi ziarna pszenicy i żyta wyliczono współczynniki korelacji liniowej prostej. Obliczenia wykonano przy poziomie istotności  $p = 0,05$ .

## Wyniki i dyskusja

Badane ziarno pszenicy i żyta wykazywało istotne zróżnicowanie pod względem zarówno właściwości białka jak i aktywności enzymów amylolytycznych.

**Zawartość białka** jest ważnym parametrem jakościowym ziarna, charakteryzującym jego wartość technologiczną. Z mąki pszennej o dużej zawartości białka uzyskiwane jest ciasto o wysokiej wydajności oraz pieczywo o dużej objętości [Finney i Brains, 1999]. Zawartość białka w ziarnie pszenicy i żyta kształtowała się odpowiednio w zakresie od 11,5 do 17,0% s.m. i od 10,5 do 14,9% s.m. Istotnie większą zawartością białka cechowało się ziarno pszenicy (Tab. 1).

**Wodochłonność** ma duże znaczenie w kształtowaniu jakości pieczywa, zarówno pszennej jak i żytniej. Z mąki o większej wodochłonności uzyskuje się ciasto o większej wydajności i odpowiedniej elastyczności [Rogozńska i Sadekiewicz 2009]. Wodochłonność śruty pszennej i żytniej uzyskanej z badanego ziarna kształtowała się odpowiednio od 60,8 do 68,8% i od 64,2 do 69,5%.

Tab. 1. Cechy jakościowe ziarna pszenicy i żyta charakteryzujące właściwości białka

Rodzaj ziarna	Zawartość białka % s.m.	Wodochłonność śruty, %	Czas T1, min	Stażność, min	C2, N·m	C1-C2, N·m
Pszenica	13,4b	63,4a	4,0b	8,0b	0,38a	0,71b
Żyto	11,8a	66,4b	1,0a	3,2a	0,51b	0,60a

a,b – grupy jednorodnie według testu *t-Tukey'a* przy  $p = 0,05$

Śruta żytnia cechowała się istotnie większą wodochłonnością niż śruta pszena. Średnia wodochłonność mąki żytniej typ 720 we wcześniejszych badaniach autorki kształtowała się na poziomie 61,5% [Szafrńska, 2011b] a wodochłonność śruty pszennej w zakresie od 58,6 do 65,9 [Szafrńska, 2011a]. W niniejszej pracy, stwierdzono istotny wpływ zawartości białka na wodochłonność śruty pszennej ( $r = 0,860$ ).

Czas T1 i stałość, odzwierciedlające zachowanie się ciasta w trakcie jego tworzenia, były zróżnicowane w zależności od rodzaju badanej śruty. Śruta pszena cechowała się istotnie dłuższym czasem T1 i stałością niż śruta żytnia (tab. 1). Stwierdzono również istotnie większe zróżnicowanie wartości omawianych parametrów w przypadku śruty pszennej (czas T1 od 1,1 do 7,1 min, stałość od 3,8 do 11,2 min) w porównaniu do śruty żytniej (odpowiednio: od 0,6 do 1,5 min i od 1,6 do 3,8 min).

**Opór ciasta** mierzony w punkcie C2 wykresu jest ważnym parametrem informującym o zmianie właściwości białek glutenowych pod wpływem mieszania i wzrostu temperatury ciasta, pośrednio charakteryzującym jakością uzyskanego pieczywa [Banu i in., 2010]. Śruta żytnia charakteryzowała się istotnie większym oporem ciasta w punkcie C2 niż śruta pszena. Wartości oporu ciasta w punkcie C2 poniżej 0,5 N·m uważane są za odpowiednie do wypieku pieczywa pszennej. Natomiast przy oporze ciasta w punkcie C2 powyżej 0,6 N·m ciasto jest zbyt sztywne, a uzyskane pieczywo ma małą objętość. Przyczyną wy-

sokiej wartości oporu ciasta w punkcie C2 w ocenie śruty żytniej była obecność pentozanów, które powodowały zwiększenie lepkości ciasta. Podane wyżej kryterium nie ma więc zastosowania w ocenie ciasta żytniego.

Różnica oporu ciasta w punktach C1 i C2 (C1-C2) określa zmiany w strukturze białek glutenowych pod wpływem ogrzewania. Istotnie większą wartością C1-C2 cechowało się ciasto ze śruty pszennej.

**Aktywność enzymów amylolytycznych.** Badana śruta pszena i żytnia charakteryzowała się zróżnicowaną aktywnością enzymów amylolytycznych – od wysokiej, wskazującej na porośnięcie ziarna, do niskiej cechującej ziarno zdrowe przydatne do długotrwałego przechowywania. Liczba opadania kształtowała się w zakresie od 62 do 370 s. Istotnie niższą aktywnością enzymów amylolytycznych cechowała się śruta pszena (Tab. 2). Podobne zróżnicowanie wyników stwierdzono w zakresie parametrów odczytywanych z wykresu *Mixolabu* m.in. podatności na działanie enzymów amylolytycznych (C4) i retrogradacji (C5). Istotnie większym oporem ciasta w punktach C4 i C5 wykresu charakteryzowała się śruta pszena.

Tab. 2. Cechy jakościowe ziarna pszenicy i żyta charakteryzujące właściwości skrobi

Rodzaj ziarna	Liczba opadania, s	C4, N·m	C5, N·m	Wskaźnik $\beta$ , Nm·min <sup>-1</sup>	Czas T3-T2, min	Temperatura,	
						D2, °C	D3, °C
Pszenica	217b	0,79b	1,28b	0,50b	5,01b	54,1a	72,0b
Żyto	108a	0,30a	0,52a	0,39a	4,47a	53,4a	69,7a

a,b – grupy jednorodnie według testu *t-Tukey'a* przy  $p = 0,05$

**Kleikowanie skrobi.** Nie stwierdzono istotnego zróżnicowania badanej śruty pszennej i żytniej w zakresie kleikowania skrobi pod wpływem wzrostu temperatury, charakteryzowanej przez opór ciasta w punkcie C3 wykresu (wartości średnie kształtowały się odpowiednio: 1,60 i 1,56 N·m). Wykazano wysoką, istotną, dodatnią korelację między oporem ciasta w punktach: C3, C4 i C5 wykresu uzyskanego za pomocą *Mixolabu* a liczbą opadania (Tab. 3).

Tab. 3. Istotne współczynniki korelacji między liczbą opadania (LO) a badanymi cechami pszenicy i żyta

Cecha	C3	C4	C5	Wskaźnik $\beta$	Czas T3-T2	Temp. D3
LO – Pszenica	0,789	0,965	0,966	0,592	0,731	r.n.
LO – Żyto	0,921	0,956	0,971	0,877	r.n.	0,824

r.n. – różnice nieistotne przy  $p = 0,05$

Uzyskane wyniki są zbieżne z badaniami Banu i Vasileana [2009] oraz Szafrńskiej [2011b]. Świadczą one o tym, że wartość oporu ciasta w punkcie C3, C4 i C5 wykresu uzależniona jest od właściwości skrobi i aktywności enzymów amylolytycznych badanej mąki. Ciasto uzyskane ze śruty żytniej o bardzo wysokiej aktywności alfa-amylazy, wskazującej na porośnięcie ziarna, cechowało się oporem w punkcie C3 wykresu wynoszącym poniżej 1,3 N·m a w punktach C4 i C5 odpowiednio poniżej 0,12 N·m i poniżej 0,21 N·m. Mąka uzyskana z takiego ziarna nie jest pożądana przez piekarzy, ponieważ otrzymane pieczywo cechuje się niewłaściwym wyglądem, ciemnym mięksizmem i odstającą skórką. Ciasto uzyskane ze śruty pszennej o średniej aktywności alfa-amylazy, odpowiedniej do uzyskania pieczywa dobrej jakości, charakteryzowało się oporem ciasta w punkcie C3 wykresu w zakresie od 1,5 do 1,8 N·m, w punkcie C4 od 0,4 do 1,2 N·m a w punkcie C5 od 0,6 do 1,8 N·m. W przypadku śruty żytniej o średniej aktywności alfa-amylazy opór ciasta w punkcie C3 wykresu kształtował się w nieznacznie wyższym zakresie od 1,6 do 2,0 N·m, w punkcie C4 wykresu od 0,3 do 0,7 N·m a w punkcie C5 od 0,5 do 1,2 N·m. Z mąki o niskiej aktywności enzymów amylolytycznych uzyskuje się pieczywo o małej objętości, bladej skórcie i lekko kruszącym się mięksizem. W przypadku pieczywa pszennej problem ten może wystąpić, jeśli ciasto uzyskane ze śruty pszennej będzie cechowało się oporem w punkcie C3 wynoszącym powyżej 1,8 N·m, w punkcie C4 powyżej 1,3 N·m, a w punkcie C5 powyżej 1,8 N·m.

**Wskaźnik  $\beta$** , charakteryzujący wzrost oporu ciasta w wyniku pęcznienia ziarenek skrobiowych, pod wpływem podnoszenia temperatury w trakcie oznaczania z 30 do 90°C, mieścił się w przedziale od 0,340 do 0,652 Nm·min<sup>-1</sup> w przypadku badania śruty pszennej i od 0,196 do 0,630 Nm·min<sup>-1</sup> w przypadku śruty żytniej. Podobnie jak we wcześniejszych badaniach autorki [Szafrńska, 2011b] oraz Banu i in. [2010] większe wartości wskaźnika  $\beta$  stwierdzono przy wyższej liczbie opadania (Tab. 3).

**Czas kleikowania skrobi.** Istotnie dłuższym czasem kleikowania skrobi, określanym jako różnica T3-T2, odznaczała się śruta pszena (Tab. 2). W przypadku śruty pszennej na wartość omawianego parametru istotny wpływ miała aktywność enzymów amylolitycznych ( $r = 0,731$ ) (Tab. 3).

**Temperatury kleikowania skrobi.** Różnice w wielkości ziarenek skrobi pszennej i żytniej powodują, że temperatura początkowa i końcowa kleikowania skrobi są zróżnicowane w zależności od rodzaju zboża. Temperatura początkowa kleikowania skrobi D2 kształtowała się od 51,5 do 56,3°C w przypadku śruty żytniej i od 52,0 do 57,4°C w przypadku śruty pszennej. Istotnie wyższą temperaturą końcową kleikowania skrobi D3 cechowała się śruta pszena (72,0°C) niż śruta żytnia (69,7°C) (Tab. 2). Brak istotnych różnic w zakresie temperatury początkowej kleikowania skrobi może wynikać z dużego zróżnicowania aktywności enzymów amylolitycznych badanego ziarna.

**Barwa ziarna pszenicy i żyta** była określana za pomocą trójbodźcowego kolorymetru *Minolta CR-310*, a **barwa badanego ciasta** za pomocą *Mixolabu* po zakończeniu oznaczenia trwającego 45 min. Ziarno pszenicy cechowało się istotnie mniejszą jasnością,  $L^*$ , niż ziarno żyta (Tab. 4).

Tab. 4. Barwa ziarna pszenicy i żyta oraz ciasta uzyskanego ze śruty pszennej i żytniej po 45 min oznaczania za pomocą *Mixolabu*

Rodzaj ziarna	Ziarno			Ciasto po 45 min. oznaczenia za pomocą <i>Mixolabu</i>		
	Jasność $L^*$	Współrzędna monochromatyczności		Jasność $L^*$	Współrzędna monochromatyczności	
		$a^*$	$b^*$		$a^*$	$b^*$
Pszenica	51,8a	5,08b	15,84b	42,88b	6,00b	12,56b
Żyto	53,0b	2,37a	13,35a	38,57a	5,35a	11,13a

a,b – grupy jednorodnie według testu *t-Tukey'a* przy  $p = 0,05$

Istotnie większą jasnością,  $L^*$ , charakteryzowało się ciasto ze śruty pszennej. Barwa ziarna oraz barwa ciasta ze śruty pszennej po zakończeniu oznaczenia cech reologicznych cechowała się większym udziałem w barwie odcieni czerwonego i żółtego. Wskazują na to wyższe, dodatnie wartości współczynników monochromatyczności  $a^*$  i  $b^*$ . Na barwę ziarna i ciasta uzyskanego ze śruty istotny wpływ miała aktywność enzymów amylolitycznych określona liczbą opadania i oporem ciasta w punktach C4 i C5 wykresu (Tab. 5). Ciasto uzyskane ze śruty o większej liczbie opadania cechowało się, korzystniejszą w wymaganiach jakościowych, większą jasnością,  $L^*$  i większym udziałem w barwie odcienia czerwonego i żółtego.

Tab. 5. Istotne współczynniki korelacji między wyróżnikami barwy a liczbą opadania (LO) i oporem ciasta w punktach C4 i C5, badanego ziarna pszenicy i żyta

Cecha	Jasność, $L^*$	Współczynnik monochromatyczności, $a^*$		Współczynnik monochromatyczności, $b^*$	
	ciasto	ziarno	ciasto	ziarno	ciasto
LO – Pszenica	0,978	0,762	0,586	0,664	0,874
LO – Żyto	0,894	r.n.	0,709	r.n.	0,830
C4 – Pszenica	0,984	0,847	r.n.	0,781	0,824
C4 – Żyto	0,869	r.n.	0,731	r.n.	0,809
C5 – Pszenica	0,981	0,843	0,518	0,778	0,818
C5 – Żyto	0,879	r.n.	0,722	r.n.	0,807

r.n. – różnice nieistotne przy  $p = 0,05$

## Wnioski

Badane ziarno pszenicy i żyta, pochodzące z upraw na terenie kraju, wykazywało istotne zróżnicowanie pod względem zarówno właściwości białka jak i aktywności enzymów amylolitycznych.

Ciasto uzyskane ze śruty pszennej cechowało się istotnie dłuższym czasem rozwoju i stałości, ale mniejszą wodochłonnością niż ciasto uzyskane ze śruty żytniej.

Istotnie niższą aktywnością enzymów amylolitycznych charakteryzowało się ziarno pszenicy niż ziarno żyta. Wskazują na to większe wartości liczby opadania oraz oporu ciasta w punktach C4 i C5 wykresu.

Wartości oporu ciasta uzyskanego ze śruty żytniej w punkcie C3 poniżej 1,3 N·m, w punkcie C4 poniżej 0,12 N·m i w punkcie C5 poniżej 0,21 N·m wskazują na bardzo wysoką aktywność alfa-amylazy i możliwość otrzymania pieczywa niezadawalającej jakości.

Ciasto uzyskane ze śruty pszennej o średniej aktywności enzymów amylolitycznych, odpowiedniej do wypieku pieczywa dobrej jakości, powinno charakteryzować się oporem ciasta w punkcie C3 w zakresie od 1,5 do 1,8 N·m, w punkcie C4 od 0,4 do 1,2 N·m a w punkcie C5 od 0,6 do 1,8 N·m.

Ciasto uzyskane ze śruty żytniej o średniej aktywności enzymów amylolitycznych powinno charakteryzować się oporem ciasta w punkcie C3 w zakresie od 1,6 do 2,0 N·m, w punkcie C4 od 0,3 do 0,7 N·m a w punkcie C5 od 0,5 do 1,2 N·m.

Barwa ziarna i ciasta po oznaczeniu za pomocą *Mixolabu* były zróżnicowane w zależności od aktywności enzymów amylolitycznych.

Oznaczenie cech reologicznych ciasta pszennego i żytniego za pomocą *Mixolabu* umożliwia bardziej kompleksową ocenę jakości niż tradycyjnie stosowane metody.

## LITERATURA

- Banu, I., Stoescu, G., Ionescu, V., Aprudu, I., 2010. Physicochemical and rheological analysis of flour mill streams. *Cereal Chem.*, **87**, nr 2, 112-117. DOI: 10.1094/CCHEM-87-2-0112
- Banu, I., Vasilean I., 2009. Relationships between the rye quality factors. *Scientific Study and Research*, **10**, nr 3, 265-270
- Dubat A., 2010. A new AACC International approved method to measure rheological properties of a dough sample. *Cereal Foods World*, **55**, nr 3, 150-153. DOI: 10.1094/CFW-55-3-0150
- Finney P. L., Brains G. S., 1999. Protein functionality differences in Eastern U.S. soft wheat cultivars and interrelation with end-use quality tests. *LWT – Food Science and Technology (Lebensm.-Wiss. U.-Technol.)*, **32**, 406-415. DOI: 10.1006/fstl.1999.0574
- Gąsiorowski H. (red.), 1993. *Żyto – chemia i technologia*. PWRiL, Poznań
- ISO 17718:2013 *Wholemeal and flour from wheat (Triticum aestivum L.) – Determination of rheological behaviour as a function of mixing and temperature increase*
- Koksel H., Kahraman K., Sanal T., Ozay D.S., Dubat A., 2009. Potential utilization of Mixolab for quality evaluation of bread wheat genotypes. *Cereal Chem.*, **86**(5), 522-526. DOI: 10.1094/CCHEM-86-5-0522
- Peña R.J., Posadas-Romano G., Espinosa-García B.M., Dubat A. 2007. *Evaluation of gluten and starch quality parameters with the Chopin – Mixolab and other traditional flour and dough testing instruments*. Proc. of 1<sup>st</sup> Conf. Int. Cereales y Productos de Cereales Calidad e Inocuidad; Rosario, Argentina: 23-26
- PN-EN ISO 20483:2007. *Ziarno zbóż i nasiona roślin strączkowych – Oznaczenie zawartości azotu i przeliczanie na zawartość białka – Metoda Kjeldahla*
- PN-EN ISO 3093:2010. *Pszenica, żyto i maki z nich uzyskane, pszenica durum i semolina – Oznaczenie liczby opadania metodą Hagberga-Pertena*
- Rogozińska I., Sadkiewicz J., 2009. Wybrane parametry jakościowe zbóż wpływające na jakość mąk pszennych oraz wartość wypiekową pieczywa. Część II. Ocena jakościowa pieczywa. *Inż. Ap. Chem.*, **48**, 2, 120-121
- Stoescu G., Ionescu V., Vasilean I., Aprudu I., Banu I., 2010. Prediction the quality of industrial flour using the Mixolab device. *Bulletin UASVM Agriculture*, **67**, nr 2, 429-434
- Szafrńska A. 2010. Prognozowanie jakości mąki pszennej na podstawie parametrów oceny jakości śruty za pomocą aparatu mixolab. *Prace Instytutów i Laboratoriów Badawczych Przemysłu Spożywczego*, **63**, 107-116
- Szafrńska A., 2011a. Nowa metoda oceny jakości wybranych odmian pszenicy za pomocą aparatu mixolab. *Post. Nauk. Technol. Przem. Rol.-Spoż.* **66**, nr 3, 74-89
- Szafrńska A., 2011b. Ocena wartości wypiekowej mąki żytniej. *Post. Nauk. Technol. Przem. Rol.-Spoż.* **66**, nr 4, 5-16
- Szafrńska A., 2013. Ocena aktywności enzymów amylolitycznych ziarna pszenicy za pomocą aparatu mixolab. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* **1**, 35-39