

ZMIANY WŁAŚCIWOŚCI WYPIEKOWYCH MĄKI ŻYTNIEJ POD WPŁYWEM DODATKU ALFA-AMYLAZY

Anna Szafrńska, Elżbieta Słowik

Zakład Przetwórstwa Zbóż i Piekarstwa,
Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego
ul. Rakowiecka 36, 02-532 Warszawa
e-mail: anna.szafranska@ibprs.pl

Streszczenie. Celem podjętych badań było określenie wpływu dodatku alfa-amylazy do mąki żytniej na właściwości ciasta i jakość pieczywa. Materiał badawczy stanowiły trzy próbki mąki żytniej typu 720 o niskiej i bardzo niskiej aktywności enzymów amylolitycznych oraz alfa-amylaza, którą dodawano w ilości 15, 20 i 40 g/(100 kg mąki)¹. Aktywność amylolityczną próbek mąki wyjściowej i z dodatkiem alfa-amylazy oceniano na podstawie badań amylograficznych i liczby opadania. Przeprowadzono badania reologiczne ciasta za pomocą mixolabu. Wykonano wypieki laboratoryjne. Stwierdzono, że dodatek alfa-amylazy do mąki żytniej powodował obniżenie wysokich wartości parametrów amylograficznych mąki: maksymalnej lepkości i temperatury końcowej kleikowania. Ciasto z mąki żytniej o większym dodatku alfa-amylazy cechowało się mniejszym oporem w punktach wykresu uzyskanego za pomocą mixolabu charakteryzującym właściwości skrobi: kleikowanie (opór ciasta w punkcie C3), podatność na działanie enzymów amylolitycznych (opór ciasta w punkcie C4) i retrogradację (opór ciasta w punkcie C5). Stwierdzono, że wraz ze zmniejszeniem oporu ciasta w punkcie C2, w którym rozpoczyna się kleikowanie skrobi i w punkcie C3 wykresu oraz tempa kleikowania skrobi (wskaźnik β) zwiększała się objętość chleba (współczynniki korelacji odpowiednio $r = -0,670$; $r = -0,726$ i $r = -0,651$). Jakość chleba pod wpływem dodatku alfa-amylazy ulegała poprawie – wzrastała objętość chleba i kwasowość miękiszu a zmniejszała się jego twardość.

Słowa kluczowe: mąka żytnia, alfa-amylaza, mixolab, ciasto, chleb

WSTĘP

Wartość wypiekowa mąki żytniej określana jest za pomocą niewielkiej liczby wyróżników jakościowych. W badaniach szczególną uwagę zwraca się na stan skrobi oraz aktywność amylolityczną, którym przypisuje się najważniejszą rolę w kształtowaniu właściwości wypiekowych mąki żytniej (Gašiorowski 1993, Popper i in. 2006). Skrobia jest składnikiem mąki żytniej, odpowiedzialnym za

tworzenie struktury ciasta i miększu chleba. Niedobór skrobi lub jej słaba jakość może przyczyniać się do uzyskania chleba gorszej jakości. Skrobia żytnia, podobnie jak skrobie innych zbóż, pęcznieje w zimnej wodzie i tworzy lepkie kleiki po ogrzaniu. Cechą charakterystyczną skrobi żytniej jest najniższa, w porównaniu do innych zbóż, temperatura kleikowania, co przyczynia się do jej dużej wrażliwości na działanie enzymów amylolitycznych. Pieczywo uzyskane z mąki o wysokiej aktywności amylolitycznej może charakteryzować się lepkiem miększem, a w skrajnych przypadkach zakalcem i odstającą skórką (Bushuk 1976, Gąsiorowski 1993, Słowik i in. 2007).

Na jakość ziarna żyta i uzyskanej z niego mąki duży wpływ mają warunki pogodowe panujące w trakcie wegetacji i zbioru ziarna. Ważnym problemem w hodowli i uprawie żyta jest jego skłonność do porastania, głównie w latach o dużej ilości opadów, w okresie przedzimoowym i w czasie zbioru ziarna (Gąsiorowski 1993, Kolasińska i in. 2001). Prace hodowlane prowadzone są więc w kierunku uzyskania wysokiej odporności na porastanie ziarna w kłosach oraz niskiej aktywności alfa-amylazy w ziarnie (Kolasińska i in. 2001, Masojć 2001). Według Kaiser i in. (2013) efektem tych prac jest znaczny wzrost wartości parametrów amylograficznych żyta uprawianego obecnie w Niemczech. Maksymalne lepkości kleików żytnich kształtujące się na poziomie 300 AU w 1996 roku wzrosły do 1100 AU w 2010 roku, a temperatury końcowe kleikowania wzrosły odpowiednio z 65 do 74°C. Równocześnie zauważono pogorszenie jakości chleba żytniego, który jest słabo spulchniony, ma niską objętość i kulisty kształt a także krótki okres zachowania świeżości.

Problem ten może mieć związek z budową anatomiczną ziarna żyta uprawianego w ostatnich latach. Kaiser i in. (2013) zaobserwowali, że ziarenka skrobi w ziarnie i w mące żytniej o niskiej aktywności amylolitycznej otoczone są dodatkową warstwą substancji białkowych, która może utrudniać dostęp enzymów do skrobi i w efekcie ich działanie.

Ziarno żyta z krajowych zbiorów z lat 2012 i 2013 cechowało się niską aktywnością enzymów amylolitycznych. Mąka z takiego ziarna nie jest pożądana przez piekarzy, którzy określają ją mianem „suchopiekąca”, gdyż uzyskany z niej chleb ma suchy, kruszący się miększ, bladą skórkę, słabo wyrasta i szybko czerstwieje. W celu otrzymania chleba o optymalnej jakości koniecznością staje się standaryzowanie mąki żytniej w młynie w zakresie odpowiedniego poziomu liczby opadania poprzez dodatek preparatów enzymatycznych zawierających alfa-amylazy. Dodatek amylaz do mąki przyczynia się do uwolnienia rozpuszczalnych węglowodanów niezbędnych w procesie fermentacji ciasta i do tworzenia substancji aromatycznych i barwiących w reakcjach nieenzymatycznego brązowienia. Amylazy spowalniają także retrogradację skrobi, która jest odpowiedzialna za czerstwienie pieczywa (Simpson i in. 2012).

Badanie wpływu dodatku alfa-amylazy na właściwości wypiekowe mąki jest zagadnieniem złożonym, a literatura z tego zakresu koncentruje się zasadniczo na mące pszennej (Hopek i in. 2006, Nechita i in. 2009, Stoenescu i Ionescu 2011). Wynika to z faktu, iż do tej pory częściej pojawiał się problem ze zbyt wysoką aktywnością amylolityczną mąki żytniej niż zbyt niską.

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu dodatku alfa-amylazy do mąki żytniej na właściwości kleiku mącznego, cechy reologiczne ciasta badane za pomocą mixolabu oraz jakość chleba żytniego.

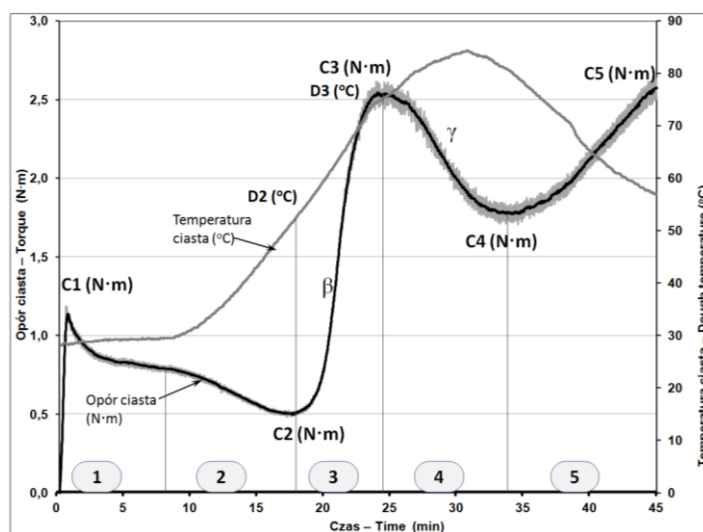
MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły trzy próbki mąki żytniej typ 720 o niskiej i bardzo niskiej aktywności enzymów amylolitycznych oraz handlowy preparat alfa-amylazy ALPHAMALT V. Mąki wyprodukowano w Zakładzie Młynarskim PZZ Sława. Do każdej próbki mąki żytniej dodawano preparat enzymatyczny w ilości: 15, 20 i 40 g·(100 kg mąki)⁻¹, zgodnie z zaleceniem producenta preparatu (5-40 g·(100 kg mąki)⁻¹). Próbkę kontrolną stanowiły mąki żytnie bez dodatku enzymu.

W badanych próbkach mąki żytniej określono zawartość popiołu (zgodnie z PN-EN ISO 2171:2010). Mąki żytnie bez i z dodatkiem alfa-amylazy badano w zakresie: oznaczania liczby opadania wg Hagberga-Pertena (zgodnie z PN-EN ISO 3093:2010), cech amylograficznych (zgodnie z PN-ISO 7973:2001), cech reologicznych za pomocą mixolabu według protokołu Chopin+ (dla mąki) (zgodnie z Instrukcją stosowania 2009). Wyznaczono wodochłonność mąki w punkcie C1 oraz opór ciasta w początkowej fazie kleikowania skrobi (C2). Z wykresów odczytano wartości oporu ciasta charakteryzujące właściwości skrobi, takie jak: kleikowanie pod wpływem wzrostu temperatury (C3), podatność na działanie enzymów amylolitycznych (C4) i retrogradację (C5). Tempo kleikowania skrobi oraz tempo enzymatycznego rozkładu skrobi opisano wskaźnikami β i γ .

Badanie cech reologicznych ciasta z mąki żytniej za pomocą aparatu mixolab przebiegało dwuetapowo. W pierwszym etapie wyznaczono wodochłonność mąki, 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, który można podzielić na pięć faz (rys. 1), rejestrowane są zmiany oporu ciasta stawiane mieszadłkom podczas mieszenia ciasta. W pierwszej fazie, trwającej 8 min, przy stałej temperaturze ciasta (30°C), określone 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 prze-

jawia się wzrostem oporu ciasta. W fazie czwartej dalszy wzrost temperatury do 90°C powoduje upłynnianie kleiku skrobiowego i tym samym zmniejszanie oporu ciasta stawianego mieszadłkom. 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).



Rys. 1. Przykładowy wykres uzyskany w ocenie mąki żytniej za pomocą mixolabu
Fig. 1. Typical mixolab curve of rye flour

Laboratoryjny wypiek chleba przeprowadzono metodą na kwasie z udziałem startera fermentacji SAF LEVAIN LV2 firmy Lesaffre Polska. Fermentację kwasu o wydajności 200 prowadzono jednofazowo w temperaturze 30°C przez 24 godziny.

Ciasto sporządzano z kwasu zawierającego 30% ogólnej ilości mąki i pozostałych składników receptury (mąka, woda, drożdże 2%, sól 1,7%) stosując wolne mieszenie do uzyskania jednorodnej masy (ok. 5 min). Temperatura ciasta po mieszeniu wynosiła 30-32°C. Fermentację ciasta w masie prowadzono przez 20 min, po czym ciasto dzielono na kęsy o masie 350 g. Uformowane kęsy ciasta wkładano do foremek i poddawano rozrostowi w komorze fermentacyjnej o temperaturze 35°C i wilgotności względnej powietrza 70-75% do stanu rozrostu normalnego. Chleb wypiekano w półkowym piecu Piccolo Wachtel Winkler w temperaturze początkowej 260°C (10 min) ze spadkiem do 200°C (30 min), z początkowym zaparowaniem. Kwasy i ciasta badano po fermentacji w zakresie uzyskanego stopnia kwasowości ogólnej i pH – wg PN-A-74100.

Badania chleba przeprowadzono po 20 ± 4 h po wypieku. Kwasowość i objętość oznaczano wg PN-A-74108. Do pomiaru objętości wykorzystywano aparat Sawy, a wynik przeliczano na 100 g pieczywa. Twardość miększu oznaczano za pomocą aparatu Instron, stosując ściskanie miększu w środkowej części kromki chleba o grubości 3 cm o 50% próbnikiem o średnicy 35 mm przy prędkości przesuwu głowicy aparatu $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Twardość miększu wyrażono w niutonach, a za wynik oznaczenia przyjmowano wartość średnią dla dwóch kromek pieczywa.

Uzyskane wyniki badań mąki i chleba opracowano statystycznie wykonując dwuczynnikową analizę wariancji, gdzie źródłem zmienności były: dodatek alfa-amylazy oraz wyjściowa aktywność enzymów amylolytycznych badanych mąk żytnich, oceniana na podstawie pomiaru liczby opadania. Istotność różnic wartości średnich wykonano testem t-Tukey'a przy poziomie istotności $p = 0,05$. W celu określenia zależności pomiędzy badanymi wyróżnikami jakościowymi wyznaczono współczynniki korelacji liniowej Pearsona. Do obliczeń wykorzystano program Statgrafics Centurion XVI.I.

WYNIKI I DYSKUSJA

Badane mąki żytnie typ 720 cechowały się niską aktywnością enzymów amylolytycznych, na co wskazują wysokie liczby opadania (odpowiednio: 231, 280 i 342 s) oraz wysokie lepkości amylograficzne (odpowiednio 480, 630 i 920 AU). Mąki wykazywały także niską podatność skrobi na hydrolizę, o czym świadczą wysokie końcowe temperatury kleikowania (tab. 1).

Tabela 1. Cechy jakościowe mąki żytniej

Table 1. Quality parameters of rye flour

Cechy – Parameters	Mąka żytnia typ 720 – Rye flour type 720		
	A	B	C
Zawartość popiołu (% s.m.) Ash content (% d.b.)	0,72a	0,72a	0,72a
Liczba opadania (s) Falling number	231a	280b	342c
Maksymalna lepkość (AU) Maximum viscosity	480a	630b	920c
Temperatura początkowa kleikowania (°C) Initial temperature of gelatinisation	52,0a	53,0b	52,8ab
Temperatura końcowa kleikowania (°C) Final temperature of gelatinisation	67,8a	72,5b	80,8c

a, b, c – grupy jednorodne według testu t-Tukey'a przy $p = 0,05$ / homogenous groups according to Tukey's t-test ($p = 0.05$).

Wymagania normy na mąkę żytnią PN-A-74032:2002 w zakresie liczby opadania wynoszące od 90 do 240 s spełniała tylko pierwsza z badanych próbek mąki żytniej (mąka A). Według Słowik (2005) i Simpson i in. (2012) mąka żytnia przeznaczona do produkcji chleba powinna charakteryzować się liczbą opadania w zakresie od 125 do 200 s, lepkością maksymalną zawiesiny w zakresie od 400 do 600 AU i temperaturą końcową kleikowania od 63 do 68°C. Z uwagi na wysokie liczby opadania i wysokie wartości temperatury końcowej kleikowania skrobi można przypuszczać, że chleb uzyskany z badanej mąki będzie miał tendencję do gorszego wyrastania, będzie więc słabo spulchniony, o niskiej objętości, kulistym kształcie i twardym mięksizu.

Podjęto próbę obniżenia wartości liczby opadania i parametrów amylograficznych badanych mąk poprzez dodatek do nich preparatu alfa-amylazy oraz oceniano wpływ tego zabiegu na jakość chleba. Wpływ dodatku alfa-amylazy do mąki żytniej na wartości liczby opadania oraz na cechy amylograficzne badanych mąk przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Średnie wartości liczby opadania i cech amylograficznych badanych mąk żytnich z dodatkiem alfa-amylazy

Table 2. Mean values of falling number and amylographic properties of tested rye flours with alpha-amylase added

Czynniki Factors	Liczba opadania Falling number (s)	Temperatura początkowa kleikowania Initial temperature of gelatinisation (°C)	Temperatura końcowa kleikowania Final temperature of gelatinisation (°C)	Maksymalna lepkość Maximum viscosity (AU)
Dodatek alfa-amylazy – Alpha-amylase added (g·(100 kg mąki) ⁻¹) – (g (100 kg flour) ⁻¹)				
0	284d	52,6b	73,7c	676c
15	278c	52,3ab	73,2c	623b
20	270b	52,2ab	72,2b	610b
40	259a	51,9a	70,6a	548a
Wyjściowa liczba opadania mąki – Initial falling number of flour (s)				
231	221a	51,1a	66,8a	451a
280	269b	52,9b	71,1b	572b
342	328c	52,7b	79,4c	821c

a, b, c, d – grupy jednorodne według testu t-Tukey'a przy p = 0,05 / homogenous groups according to Tukey's t-test (p = 0.05).

Wraz ze wzrostem dodatku preparatu enzymatycznego obserwowano zmniejszenie średnich wartości: liczby opadania z 284 do 259 s oraz maksymalnej lepkości zawiesiny z 676 do 548 AU (tab. 2). Mąki żytnie z najwyższym dodatkiem

alfa-amylazy ($40 \text{ g} \cdot (100 \text{ kg mąki})^{-1}$) cechowały się istotnie najniższymi średnimi temperaturami: początkową i końcową kleikowania (odpowiednio: $51,9$ i $70,6^\circ\text{C}$) w porównaniu z mąką kontrolną (odpowiednio: $52,6$ i $73,7^\circ\text{C}$). Największy dodatek alfa-amylazy do badanych mąk żytnich spowodował obniżenie średniej maksymalnej lepkości do poziomu uznawanego za odpowiedni do produkcji chleba, jednak średnia temperatura końcowa kleikowania skrobi nadal pozostawała poza zakresem optymalnym (Słowik 2005, Simpson i in. 2012). Istotne różnice stwierdzono także między próbkami mąki żytniej o różnej wyjściowej liczbie opadania z uwzględnieniem badanych próbek mąki z dodatkiem preparatu enzymatycznego. Próbki mąki żytniej o największej początkowej liczbie opadania (342 s) cechowały się także statystycznie istotnie największą lepkością maksymalną zawiesiny (821 AU) (tab. 2). Próbki mąki żytniej o najmniejszej wyjściowej liczbie opadania (231 s) cechowały się natomiast istotnie najniższą temperaturą początkową i końcową kleikowania skrobi (odpowiednio $51,1$ i $66,8^\circ\text{C}$). Istotne interakcje między zastosowaną dawką alfa-amylazy a wyjściową liczbą opadania mąki stwierdzono w przypadku liczby opadania i wszystkich parametrów oceny amylograficznej.

Właściwości fizyczne ciast uzyskanych z badanych mąk żytnich przedstawiono w tabeli 3. Wodochłonność mąk żytnich kształtowała się od $60,8$ do $62,0\%$ i nie była zróżnicowana w zależności od dodatku preparatu enzymatycznego do mąki. Statystycznie istotnie najniższą wodochłonnością cechowały się mąki żytnie o wyjściowej liczbie opadania 342 s ($60,9\%$). W przeprowadzonych badaniach własnych (Szafrńska 2011) wodochłonność mąki żytniej kształtowała się w szerszym zakresie (od $55,8$ do $63,7\%$) i podobnie jak w badaniach Buksa i in. (2013) była zróżnicowana w zależności od typu mąki żytniej.

Wskaźnik β , charakteryzujący wzrost oporu ciasta w wyniku pęcznienia i kleikowania ziarenek skrobiowych pod wpływem podnoszenia temperatury w trakcie oznaczania z 30 do 90°C , kształtował się dla badanych próbek w zakresie od $0,588$ do $0,794 \text{ Nm} \cdot \text{min}^{-1}$. Dodatek alfa-amylazy do mąki powodował zmniejszenie tempa kleikowania skrobi. Istotnie mniejszym wskaźnikiem β ($0,638 \text{ Nm} \cdot \text{min}^{-1}$) cechowały się mąki żytnie z największym dodatkiem alfa-amylazy w porównaniu do próbek kontrolnych. Na mniejszą wartość wskaźnika β i wolniejsze kleikowanie skrobi mąk o większej aktywności enzymów amylolitycznych wskazują także wyniki badań Rosell i in. (2007) oraz Banu i in. (2010). Wartości wskaźnika γ , charakteryzującego prędkość enzymatycznego rozkładu skrobi, kształtowały się od $-0,182$ do $-0,100 \text{ Nm} \cdot \text{min}^{-1}$. Nie stwierdzono istotnego zróżnicowania wskaźnika γ między próbkami mąki żytniej kontrolnej a próbkami z dodatkiem alfa-amylazy w ilości: 15 i $20 \text{ g} \cdot (100 \text{ kg mąki})^{-1}$.

Właściwości skrobi takie jak: kleikowanie pod wpływem wzrostu temperatury, podatność na działanie enzymów amylolitycznych i retrogradacja charakteryzowane w trzeciej, czwartej i piątej fazie wykresów uzyskanych za pomocą mixo-

labu (punkty C3, C4 i C5), były zróżnicowane w zależności od rodzaju próbki i dodatku alfa-amylazy do mąki (tab. 3). Mąki o wyższej liczbie opadania wykazywały wyższe wartości oporu w opisanych punktach, co może wskazywać na zdolność tych mąk do tworzenia kleików o wyższej lepkości, o mniejszej podatności na działanie amylaz i szybszym tempie zmian typu retrogradacja. Analizując wykresy sporządzone dla próbek mąki z dodatkiem alfa-amylazy, odnotowano, że opór ciasta w punktach C3, C4 i C5 zmniejszał się wraz ze zwiększaniem dawki preparatu enzymatycznego. Istotne interakcje między dodatkiem alfa-amylazy a wyjściową liczbą opadania mąki stwierdzono w przypadku oporu ciasta w punktach C4 i C5.

Tabela 3. Średnie wartości cech reologicznych ciasta z badanych mąk żytnich z dodatkiem alfa-amylazy oceniane za pomocą mixolabu

Table 3. Mean values of rheological properties of tested rye flours with alpha-amylase added tested by mixolab

Czynniki Factors	Wodochłonność Water absorption (%)	Wskaźnik Slope (N·m·min ⁻¹)		Opór ciasta w punktach Torque in points (N·m)		
		β	γ	C3	C4	C5
Dodatek alfa-amylazy – alpha-amylase added (g·(100 kg mąki) ⁻¹) – (g (100 kg flour) ⁻¹)						
0	61,4a	0,742b	-0,156a	2,39c	1,43c	2,18c
15	61,2a	0,678ab	-0,143a	2,30b	1,40bc	2,12b
20	61,3a	0,676ab	-0,144a	2,26b	1,37b	2,10b
40	61,4a	0,638a	-0,116b	2,13a	1,30a	2,00a
Wyjściowa liczba opadania mąki – Initial falling number of flour (s)						
231	61,5b	0,655a	-0,149a	2,16a	1,14a	1,84a
280	61,6b	0,702a	-0,139ab	2,30b	1,37b	2,10b
342	60,9a	0,694a	-0,131b	2,34c	1,62c	2,36c

a, b, c, d – grupy jednorodnie według testu t-Tukey'a przy p = 0,05 / homogenous groups according to Tukey's t-test (p = 0.05).

Wyniki bezpośredniej oceny wartości wypiekowej badanych próbek mąki (wyjściowych i z dodatkiem alfa-amylazy) na podstawie wypieków laboratoryjnych chleba formowego przedstawiono w tabeli 4. Objętość pieczywa kształtowała się od 209 do 259 cm³, tj. od poziomu dostatecznego do bardzo dobrego wg kryteriów dla chleba pytlowego podanych w PN-A-74108:1996. Stwierdzono, że dodatek alfa-amylazy korzystnie oddziaływał na objętość pieczywa. Istotnie największą objętością (250 cm³) charakteryzowały się chleby uzyskane z mąki o największym dodatku alfa-amylazy (40 g·(100 kg mąki)⁻¹). Istotnie większą objętością uzyskanego pieczywa cechowały się mąki o najmniejszej wyjściowej liczbie opadania.

Ciasta sporządzone z badanych mąk wyjściowych słabo się ukwasały, co przyczyniało się również do niskiej kwasowości miększu wypieczonego z nich chleba (3,2-3,5°) i miało wpływ na uzyskanie mało wyrazistego smaku i aromatu tego chleba. Wraz ze zwiększeniem dawki alfa-amylazy do mąki obserwowano nieznaczne zwiększanie kwasowości miększu (tab. 4) i poprawę smakowitości chleba.

Twardość miększu, która jest jednym z najczęściej oznaczanych parametrów charakteryzujących teksturę chleba, wyrażona w niniejszych badaniach jako siła potrzebna do osiągnięcia 50% deformacji kromki, kształtowała się w bardzo szerokim zakresie od 21,2 do 35,8 N. Duże różnice występowały w twardości miększu chleba z mąk wyjściowych, jak też w zależności od dodatku preparatu enzymatycznego. Pieczywo uzyskane z mąk o najniższej wyjściowej liczbie opadania (231 s) cechowało się najmniejszą twardością miększu (średnio 23,6 N) (tab. 4). Istotnie największą twardością miększu charakteryzowało się pieczywo uzyskane z badanych mąk bez dodatku alfa-amylazy (31,2 N). Wraz ze zwiększeniem dawki alfa-amylazy do mąki obserwowano zmniejszanie twardości miększu pieczywa. W przypadku objętości chleba, kwasowości miększu i twardości miększu stwierdzono istotne interakcje między dodatkiem alfa-amylazy a wyjściową liczbą opadania mąki.

Tabela 4. Średnie wartości parametrów jakości chleba żytniego w zależności od dodatku alfa-amylazy do badanych mąk

Table 4. Mean values of baking properties of rye bread with alpha-amylase added to tested flours

Czynniki Factors	Objętość pieczywa na 100 g chleba Volume of 100 g of bread (cm ³)	Kwasowość miększu Titrable acidity (°kwasowości) (degrees of acidity)	Twardość miększu Breadcrumb hardness (N)
Dodatek alfa-amylazy –alpha-amylase added (g·(100 kg mąki) ⁻¹) – (g (100 kg flour) ⁻¹)			
0	221a	3,3a	31,2c
15	228b	3,8c	27,3b
20	229b	3,7b	25,6a
40	250c	4,0d	25,5a
Wyjściowa liczba opadania mąki – Initial falling number of flour (s)			
231	238b	3,5a	23,6a
280	230a	4,0c	28,5b
342	228a	3,6b	30,1c

a, b, c, d – grupy jednorodne według testu t-Tukey'a przy p = 0,05 / homogenous groups according to Tukey's t-test (p = 0.05).

Na podstawie uzyskanych wyników badań obliczono współczynniki korelacji liniowej między wybranymi wyróżnikami jakościowymi (tab. 5). Współczynniki te pokazują, że parametry uzyskane za pomocą mixolabu są wysoko skorelowane

z innymi wyróżnikami jakości mąki żytniej oraz, że można na ich podstawie skutecznie wnioskować o wartości wypiekowej mąki.

Stwierdzono wysoką, istotną, dodatnią korelację między oporem ciasta w punktach: C3, C4 i C5 wykresu uzyskanego za pomocą mixolabu a liczbą opadania jak również parametrami amylograficznymi (tab. 5). Uzyskane wyniki są zbieżne z badaniami Banu i Vasileana (2009) oraz Szafrąńskiej (2011). Świadczą one o tym, że wartość oporu ciasta w punkcie C3, C4 i C5 wykresu uzależniona jest od właściwości skrobi i aktywności enzymów amylolitycznych badanej mąki. Podobne zależności wykazał również Dubat (2010).

Stwierdzono istotne zależności pomiędzy objętością chleba a oporem ciasta w punktach C3 i C4 oraz wskaźnikiem β . Współczynniki korelacji dla tych parametrów przyjmowały wartości ujemne (odpowiednio: $r = -0,726$; $r = -0,435$; $r = -0,651$). Podobnie Banu i in. (2011) oraz Koksel i in. (2009) uzyskali ujemne współczynniki korelacji między objętością chleba a oporem ciasta mierzonym w punktach C3, C4 i C5 wykresu. Dodatnią korelację między objętością chleba żytniego a oporem w punkcie C3 ($r = 0,91$) wykazali Banu i Vasilean (2009).

Tabela 5. Współczynniki korelacji liniowej pomiędzy wybranymi wyróżnikami jakościowymi istotne przy $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,01$ *

Table 5. Linear correlation coefficients between the chosen quality parameters significant at $\alpha = 0.05$ and $\alpha = 0.01$ *

Wyróżnik jakościowy Quality parameter	Liczba opadania Falling number	Lepkość maksymalna Maximum viscosity	Temperatura początkowa kneikowania Initial temperature of gelatinisation	Temperatura końcowa kneikowania Final temperature of gelatinisation	Objętość chleba Loaf volume	Twardość miększu Breadcrumb hardness
C2	r.n.– n.s.	r.n.– n.s.	0,589*	r.n.– n.s.	-0,670*	0,588*
C3	0,732*	0,736*	0,714*	0,700*	-0,726*	0,747*
C4	0,988*	0,965*	0,702*	0,970*	-0,435	0,699*
C5	0,969*	0,954*	0,751*	0,953*	-0,486	0,734*
β	r.n.– n.s.	0,412	0,469	r.n.– n.s.	-0,651*	0,475
Objętość chleba Loaf volume	-0,432	-0,447	r.n.– n.s.	-0,420	X	-0,574*
Twardość miększu Breadcrumb hardness	0,710*	0,664*	0,618*	0,652*	-0,574*	X

r.n., n.s. – różnice nieistotne, no significant difference.

Uzyskane wyniki badań wskazują, że opór ciasta w punktach C3, C4 i C5 wykresu może być wykorzystywany do wnioskowania o twardości miękiszu chleba uzyskanego z badanej mąki. Większą twardością miękiszu charakteryzowały się chleby uzyskane z mąki o większym oporze ciasta w punkcie C3 ($r = 0,747$), C4 ($r = 0,699$) i C5 ($r = 0,734$). Podobne obserwacje odnośnie oporu ciasta w punkcie C5 poczynili Matos i Rosell (2013). Wyniki badań własnych wskazują, że wraz ze wzrostem objętości pieczywa zmniejszała się twardość miękiszu ($r = -0,574$).

WNIOSKI

1. Dodatek alfa-amylazy do mąki żytniej wpłynął na obniżenie maksymalnej lepkości oraz temperatury końcowej kleikowania skrobi.
2. Wraz ze wzrostem dodatku alfa-amylazy do mąki żytniej zmniejszał się opór ciasta w punktach wykresu uzyskanego za pomocą mixolabu, charakteryzujących właściwości skrobi, takie jak: kleikowanie (C3), podatność na działanie enzymów amylolitycznych (C4) i retrogradację (C5).
3. Dodatek alfa-amylazy do mąki żytniej spowodował poprawę jakości chleba: wzrost objętości chleba, kwasowości miękiszu oraz obniżenie twardości miękiszu.

PIŚMIENNICTWO

- Banu I., Stoenescu G., Ionescu V., Aprodu I., 2011. Estimation of the baking quality of wheat flours based on rheological parameters of the Mixolab curve. *Czech J. Food Sci.*, 29(1), 35-44.
- Banu I., Vasilean I., 2009. Relationships between the rye quality factors. *Scientific Study & Research*, Vol. 10(3), 265-270.
- Banu I., Stoenescu G., Ionescu V., Aprodu I., 2010. Physico-chemical and rheological analysis of flour mill streams. *Cereal Chemistry*, 87(2), 112-117.
- Buksa K., Nowotna A., Ziobro R., 2013. Zastosowanie tekstuometru do wyznaczania wodochłonności mąki żytniej o zróżnicowanej zawartości popiołu. *Acta Agrophisica*, 20(4), 529-541.
- Bushuk W. (red.), 1976. *Rye: Production, Chemistry, and Technology*. AACC, St. Paul, Minnesota.
- Dubat A., 2010. A new AACC International approved method to measure rheological properties of a dough sample. *Cereal Foods World*, 55(3), 150-153.
- Gąsiorowski H. (red.), 1993. *Żyto – chemia i technologia*, Poznań, PWRiL.
- Hopek M., Ziobro R., Achremowicz B., 2006. Comparison of the effects of microbial alfa-amylases and scalded flour on bread quality. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 5(1), 97-106.
- Instrukcja stosowania, 2009. *Mixolab User's Manual*. Tripette & Renaud Chopin.
- Kaiser H., Voß A., Bindrich U., 2013. Bewertung der Verarbeitungseigenschaften von Roggen. Traditionell gebräuchliche Parameter, stoffliche Charakterisierung und Backverhalten. 2. Frühjahrstagung des Weihenstephaner Institutes für Getreideforschung, 20-21.03.2013.
- Koksel H., Kahraman K., Sanal T., Ozay D.S., Dubat A., 2009. Potential utilization of Mixolab for quality evaluation of bread wheat genotypes. *Cereal Chemistry*, 86(5), 522-526.
- Kolasińska I., Madej L., Węgrzyn S., Cygankiewicz A., 2001. Ocena przydatności linii rodzicielskich żyta do hodowli mieszańców odpornych na porastanie. *Biuletyn IHAR*, 218/219, 361-370.

- Masojć P., 2001. Ocena wartości hodowlanej rodów żyta o podwyższonej odporności na porastanie. Biuletyn IHAR, Nr 218/219, 371-377.
- Matos M.E., Rosell C.M., 2013. Quality indicators of rice-based gluten-free bread-like products: Relationships between dough rheology and quality characteristics. Food and Bioprocess Technology, 6(9), 2331-2341.
- Nechita V., Niculita I., Arghire C., Izella I.G., 2009. Strong flour improvement using malt flour. Journal of Agricultural Processes and Technologies, 15(2), 242-244.
- PN-A 74032:2002 Przetwory zbożowe – Mąka żytnia.
- PN-A-74100:1992 Półprodukty piekarskie – Metody badań.
- PN-A-74108:1996 Pieczywo – Metody badań.
- PN-EN ISO 2171:2010 Ziarno zbóż, nasiona roślin strączkowych i ich przetwory – Oznaczanie zawartości popiołu metodą spalania.
- PN-EN ISO 3093:2010 Pszenica, żyto i mąki z nich uzyskane, pszenica durum i semolina - Oznaczanie liczby opadania metodą Hagberga-Pertena.
- PN-ISO 7973:2001 Ziarno zbóż i przetwory zbożowe. Oznaczanie lepkości mąki. Metoda z zastosowaniem amylografu.
- Popper L., Schäfer W., Freund W. (red.), 2006. Future of flour. A compendium of Flour Improvement. Agrimedia GmbH, Bergen/Dumme.
- Rosell, C.M., Collar, C., Haros M., 2007. Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the Mixolab. Food Hydrocolloids, 21, 452-462.
- Simpson B.K., Nollet L.M.L., Toldra F., Benjakul S., Paliyath G., Hui Y.H., 2012. Food Biochemistry and Food Processing. Wiley-Blackwell Publishing.
- Słowik E., 2005. Właściwości technologiczne i metody oceny żyta. Prz. Piek. Cukier., 53(3), 6-9.
- Słowik E., Mielcarz M., Kot M., Lewicka B., 2007. Próba ustalenia zależności wydajności ciasta i jakości chleba żytniego od parametrów krzywej pęcznienia. Pr. Inst. Lab. Bad. Przem. Spoż., 62, 5-18.
- Stoenescu G., Ionescu V.S., 2011. Rheological properties of the wheat flour supplemented with different additives. The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI – Food Technology, 35(1), 54-62.
- Szafrańska A., 2011. Ocena wartości wypiekowej mąki żytniej. Postępy Nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego, LXVI(3), 74-89.

CHANGES IN BAKING PROPERTIES OF RYE FLOUR IMPACTED BY ALPHA-AMYLASE ADDITION

Anna Szafrańska, Elżbieta Słowik

Institute of Agricultural and Food Biotechnology
ul. Rakowiecka 36, 02-532 Warszawa
e-mail: anna.szafranska@ibprs.pl

Abstract. The aim of this study was to determine the effect of alpha-amylase addition on the properties of dough and on the quality of rye bread. The experimental material was three samples of rye flour type 720 with low and very low amylolytic activity. Alpha-amylase was added in the amounts of 15, 20 and 40 g (100 kg flour)⁻¹. Amylolytic activity of tested rye flour without and with alpha-amylase addition was assessed by the amylograph properties and falling number method. The rheological properties of dough were tested by mixolab. The laboratory test baking was performed. Alpha-amylase addition to rye flour reduced high values of amylograph properties: maximum viscosity and final temperature of gelatinisation. Rye dough obtained from flour with higher alpha-

amylase addition was characterised by lower mixolab torque in points which characterise starch gelatinisation (torque in point C3), enzymatic activity (torque in point C4) and retrogradation (torque in point C5). The rye dough with lower torque in point C2 in which gelatinization starts and in point C3 and lower slope β was characterised by higher bread volume (correlation coefficients: $r = -0,670$; $r = -0,726$; $r = -0,651$ respectively). Better quality of bread obtained from rye flour with alpha-amylase addition was observed – the bread volume and titrable acidity increased, and crumb hardness decreased.

Key words: rye flour, alpha-amylase, mixolab, dough, bread