

ZENON KĘDZIOR, ANNA PRUSKA-KĘDZIOR,  
JUSTYNA GOLIŃSKA-KRYSZTOFIAK

## **ROLA WŁAŚCIWOŚCI POWIERZCHNIOWO CZYNNYCH BIAŁEK ZBOŻOWYCH W KSZTAŁTOWANIU STRUKTURY CIASTA I MIĘKISZU PIECZYWA**

### Streszczenie

Białka odgrywają podstawową rolę w kształtowaniu zdolności zatrzymywania pęcherzyków gazu w cieście. Zjawisko to polega na ustabilizowaniu powierzchni granicznej fazy ciekłej (ciasto) i gazowej (wnętrze pęcherzyka gazu) wskutek adsorpcji i reorganizacji przestrzennej cząsteczek białkowych na granicy faz, czemu towarzyszy obniżenie napięcia powierzchniowego na granicy faz oraz zmiana właściwości reologicznych warstwy granicznej. W artykule tym dokonano przeglądu aktualnego stanu wiedzy na temat właściwości powierzchniowo czynnych mąki, ciasta, glutenu oraz albumin, globulin, gliadyn i glutenin pszenicy.

**Słowa kluczowe:** białka zbóż, struktura ciasta, struktura miękiszu.

### Wstęp

Podstawową rolę w ukształtowaniu zdolności zatrzymywania pęcherzyków gazów w cieście, zarówno powietrza uwięzionego w masie ciasta podczas mieszania, jak i lotnych metabolitów fermentacji, odgrywają właściwości powierzchniowo czynne naturalnych składników mąki (lipidy polarne, białka, pentozany) oraz dodatków technologicznych, np. emulgatorów. Zjawisko to polega na ustabilizowaniu powierzchni granicznej fazy ciekłej (ciasto) i gazowej (wnętrze pęcherzyka gazu) wskutek adsorpcji na granicy faz i, w przypadku makrocząsteczek, odpowiedniej reorganizacji przestrzennej cząsteczek obdarzonych właściwościami powierzchniowo czynnymi. Towarzyszy temu obniżenie napięcia powierzchniowego na granicy faz oraz zmiana właściwości reologicznych warstwy granicznej. Im silniejsze właściwości powierzchniowo

wo czynne wykazywać będą niektóre składniki ciasta, tym silniej obniżyć się będzie napięcie powierzchniowe na granicy faz ciec-z-gaz, tym mniejsze będą tworzące się pęcherzyki gazu i tym delikatniejszą porowatość uzyska mięksisz.

Właściwości powierzchniowo czynne uwodnionych rodzimych składników mąki ujawniają się nie tylko podczas stabilizowania pęcherzyków gazu w cieście (tj. jako właściwości pianotwórcze), lecz również podczas emulgowania fazy tłuszczowej w przypadku pieczywa o podwyższonej zawartości tłuszczów. To właśnie wyniki prowadzonych w latach sześćdziesiątych badań nad zdolnością pianotwórczą różnych białek po raz pierwszy zwróciły uwagę badaczy na szczególne, całkowicie unikalne właściwości cząsteczek białek glutenowych znajdujących się na powierzchni granicznej woda-powietrze [25].

### **Właściwości powierzchniowe mąki**

Wielkość cząstek mąki pszennej lub żytniej zawiera się w przedziale od 0,1 do 180  $\mu\text{m}$ . W zależności od przedziału granulacji cząstki te stanowią pojedyncze płytki białkowe, wolne ziarna skrobiowe, strzępki ścian komórkowych oraz różnej wielkości fragmenty tkanki bielma składające się z płytek białkowych i ziaren skrobiowych. Powierzchnia tych cząstek ma zatem zróżnicowany skład chemiczny. Tworzą ją, w różnych stosunkach ilościowych, białka, skrobia i polisacharydy nieskrobiowe. Powierzchnia cząstek najdrobniejszych jest jednorodna: białkowa ( $< 5 \mu\text{m}$ ), białkowo-skrobiowa lub skrobiowa ( $< 45 \mu\text{m}$ ). W przypadku cząstek większych – będących agregatami różnych struktur wewnątrzkomórkowych – powierzchnia jest niejednorodna, o trudnym do zdefiniowania udziale wymienionych trzech grup związków makrocząsteczkowych.

Mąka jest materiałem sypkim o budowie silnie kapilarnej. Zróżnicowaną strukturę mikrokapilarną mają również poszczególne cząstki mąki. Należy oczekiwać, że mąkę charakteryzuje wysoka zwilżalność. Z praktyki technologicznej znane jest jednak zjawisko występowania niezwilżonych grudek mąki zamkniętych w strukturze ciasta. Biorąc pod uwagę zróżnicowanie budowy powierzchni cząstek mąki o różnej wielkości oraz zróżnicowanie składu granulometrycznego różnych typów i gatunków mąki można oczekiwać zróżnicowania ich zwilżalności. Zjawisko to jest stosunkowo mało poznane.

Kędzior i wsp. [15] badali kąt zwilżania przez wodę płaskich powierzchni, ukształtowanych z wybranych pszennych mąk pasażowych. Kąt zwilżania mierzono metodą kropli leżącej w momencie kontaktu powierzchni mąki z kroplą wody oraz po 30 sekundach zwilżania. Wartości granicznego kąta zwilżania w chwili kontaktu powierzchni mąki z kroplą wody wynosiły od 29 do 54°. Badane próbki mąk pasażowych wykazały silne efekty powierzchniowe, objawiające się obniżeniem wartości

kąta zwilżania po 30 sekundach do poziomu 16 do 34°. Przeprowadzona analiza granulometryczna wskazała na istnienie wyraźnego związku pomiędzy rozkładami wielkości cząstek i wartościami kątów zwilżania badanych mąk pasażowych.

Rolę sił powierzchniowych w inicjacji tworzenia i rozwoju struktury glutenowej określano w licznych badaniach, śledząc zwilżanie pojedynczych cząstek mąki rozproszonych swobodnie na powierzchni wody [1, 3, 10-12].

Eliasson i wsp. [10] badali wpływ warstewek cząstek pszennych mąk pasażowych, rozpostartych na granicy faz woda – powietrze, na obniżenie wartości napięcia powierzchniowego. Wykazali oni znaczne podobieństwo izoterm zależności  $\pi - A$  (gdzie  $\pi$  - ciśnienie powierzchniowe,  $A$  - pole powierzchni granicznej) odnoszących się do mąk nieodtłuszczonych i odtłuszczonych, co wskazuje, że tłuszcze rodzime mąki mają znikomy wpływ na kształtowanie jej właściwości powierzchniowo czynnych. Ponadto odnotowano, że znacznie większe spadki napięcia powierzchniowego powodowała mąka z pszenic ozimych, bogatszych w białka o niższym ciężarze cząsteczkowym. Zaobserwowano też różnice właściwości powierzchniowo czynnych poszczególnych mąk pasażowych.

Badano również zjawisko spontanicznego formowania włókienek glutenowych wysnuwających się z cząstek mąki umieszczonych na granicy faz woda - powietrze [1, 3, 12]. Bernardin i Kassarda [3] zaobserwowali, że po umieszczeniu cząstek mąki na tej granicy faz, w ciągu 5 sekund następowało wydzielenie włókienek glutenowych ze zwilżonych cząstek. Ich skład aminokwasowy był identyczny ze składem aminokwasowym glutenu wymytego ręcznie [1]. Zdolność formowania włókienek glutenowych wykazywały wyłącznie cząstki mąki umieszczone na granicy faz. Włókienka nie wydzielaly się z cząstek umieszczonych od razu w głębi fazy ciekłej [1]. Obniżenie napięcia powierzchniowego (np. przez dodatek SDS) powodowało zmniejszenie liczby tworzących się włókienek [12], zaś obecność w fazie wodnej czynnika redukującego (1% ditiotritol) sprawiała, że włókienka zanikały niemal natychmiast po utworzeniu [1]. Zauważono również odwrotną zależność pomiędzy gęstością obsadzenia powierzchni przez cząstki mąki i liczbą powstających włókienek [12]. Prezentowane wyniki dowodzą fundamentalnej roli sił powierzchniowych w tworzeniu przestrzennej sieci glutenowej. Powstawanie i rozwój włókienek glutenowych na granicy faz woda – powietrze może być uważany za unikalną właściwość powierzchniowo czynną białek zbożowych, która w połączeniu ze zjawiskami polimeryzacji białek glutenowych prowadzi do uformowania matrycy glutenowej.

Równie istotne znaczenie dla powstawania i stabilizacji struktury ciasta mają oddziaływania białek glutenowych z ziarnami skrobiowymi [2, 11, 13]. Dowiedziono również istotnej roli sił powierzchniowych w ukierunkowaniu zachodzących interakcji.

Ziarna skrobiowe umieszczone na granicy faz woda – powietrze wchodzą w interakcje z białkami, przy czym zdolność adsorbowania białek spolimeryzowanych wydaje się być wyższa, niż białek niespolimeryzowanych [2, 13]. Stwierdzono również, że wstępne ogrzewanie ziaren skrobiowych, nawet do temperatury bliskiej kleikowania, sprzyjało wzrostowi zdolności adsorbowania białek przez skrobię. W środowisku wody dejonizowanej białka niespolimeryzowane całkowicie desorbowały się z powierzchni ziaren skrobiowych, podczas gdy białka spolimeryzowane pozostawały zaadsorbowane [11].

### Granice faz w cieście

W cieście, będącym układem wielofazowym, występują granice faz: ciecz – gaz, ciecz – ciecz, ciecz – ciało stałe, gaz – ciało stałe oraz ciało stałe – ciało stałe. Największą powierzchnię międzyfazową stanowi powierzchnia graniczna ciecz – gaz (woda – powietrze), którą po wypieku obserwujemy jako porowatość miękiszu pieczywa. Już w fazie mieszenia powierzchnia ta wynosi niemal  $8 \text{ m}^2$  na  $100 \text{ g}$  ciasta, podczas fermentacji powiększa się do około  $43 \text{ m}^2$ , a po wypieku osiąga wielkość ok.  $64 \text{ m}^2/100 \text{ g}$  [21, 26]. Obliczenia te wykonano przyjmując założenie, że stosunek mąki do wody w cieście wynosi  $60 : 40$ , a  $1 \text{ m}^3$  ciasta zawiera  $10^{13}$  pęcherzyków gazu o przeciętnej średnicy początkowej  $50 \text{ }\mu\text{m}$ .

Powstawanie pęcherzyków gazu w cieście wiąże się głównie z wydzielaniem w procesie fermentacji dwutlenku węgla i innych lotnych metabolitów. Początkowo wydzielający się podczas fermentacji  $\text{CO}_2$  rozpuszcza się w masie ciasta. Po osiągnięciu stanu nasycenia zaczyna on dyfundować i parować do wnętrza zamkniętych w cieście pęcherzyków powietrza, powodując wzrost ciśnienia wewnątrz pęcherzyków i ich powiększanie się. W miarę trwania fermentacji ustala się stacjonarny stan równowagi pomiędzy prędkością powstawania i parowania  $\text{CO}_2$  oraz prędkością względną wzrostu pęcherzyków gazu [5, 26]. Jak wynika z badań van Vlieta i wsp. [26] (tab. 1), intensywność wzrostu powierzchni granicznej ciecz - gaz w cieście jest największa podczas rozrostu końcowego i wypieku [21].

W przestrzeni ciasta niestanowiącej granicy faz ciecz – gaz występują trudne do oszacowania powierzchnie graniczne ciecz – ciecz oraz ciecz – ciało stałe. Typ granicy faz ciało stałe – ciecz reprezentuje np. granica pomiędzy powierzchnią ziaren skrobiowych i błonami białkowymi matrycy glutenowej [11] oraz powierzchnia graniczna matrycy glutenowej i powlekającej ją warstwy wody. Lipidy oddziałują z matrycą glutenową lub ziarnami skrobiowymi na granicach ciecz – ciecz oraz ciało stałe – ciecz i podobnie dzieje się w przypadku polisacharydów nieskrobiowych [6, 21]. Oddziaływanie komórek drożdżowych lub bakterii kwasu mlekowego ze środowiskiem ciasta również odbywa się na granicach faz ciecz – ciało stałe oraz ciecz – ciecz.

Tabela 1

Charakterystyka przebiegu zmian objętości pęcherzyków gazu w cieście chlebowym podczas procesu prowadzenia ciasta i wypieku.

Characteristics of gas bubble volume evolution in bread dough during the baking technological process.

Etap technologiczny Technological step	Objętość względna pęcherzyka Bubble relative volume	Współczynnik, o który pęcherzyk gazu powiększa się w każdym z etapów Factor by which gas bubble size increases at each step		
		Objętość Volume	Powierzchnia Surface area	Promień Radius
Mieszenie Mixing	1,1	–	–	–
Fermentacja wstępna Immediate proof	1,25	–	–	–
Rozrost końcowy Tin proof	4,1	12,0	5,4	2,3
Wypiek Baking	6,5	1,8	1,5	1,2
Całkowita zmiana w wyniku rozrostu końcowego i wypieku Total change during tin proof and baking	–	22,0	7,8	2,8

Źródło: wg van Vlieta i wsp. [26]

W oparciu o dane dotyczące przeciętnej zawartości głównych frakcji białkowych i lipidowych w mące pszennej, Örnebro i wsp. [21] oszacowali potencjalną ilość każdego z tych związków chemicznych przypadającą, na jednostkę powierzchni granicy faz woda - powietrze (tab. 2). Są to wielkości hipotetyczne, obliczone przy założeniu, że cała ilość danej substancji ma kontakt z tą granicą faz. Oczywiście jest, że znaczna część cząsteczek każdego z tych związków, jeżeli nie ich większość, pozostanie uwikłana w oddziaływania we wnętrzu struktury ciasta lub w oddziaływania na granicach faz ciecz – ciecz i ciecz – ciało stałe. Dane te uzupełniono w niniejszym przeglądzie oszacowaniem udziału puroindolin, białek powierzchniowo czynnych silnie oddziałujących z tłuszczami [4] oraz pentozanów rozpuszczalnych w wodzie, które wykazują znaczące właściwości powierzchniowo czynne [23].

### Właściwości powierzchniowo czynne białek zbożowych w cieście

Właściwości powierzchniowo czynne wykazują białka zbożowe należące do wszystkich grup zdolności dyspergowania (“rozpuszczalności”) określonej według klasyfikacji Osborne’a. Białka wchodzące w skład ciasta, tj. prolaminy i gluteniny oraz

Tabela 2

Szacunkowy udział głównych składników powierzchniowo czynnych mąki w typowym cieście pszenym zawierającym 60% mąki i 40% wody.

Estimated contents of major surface-actives macromolecular components of flour in typical wheat dough containing 60% of flour and 40% of water.

Składnik chemiczny ciasta Dough chemical component	Zawartość w cieście Content in dough (%)	Zawartość w przeliczeniu na jednostkę powierzchni granicznej Amount per water-air interface area unit (mg/m <sup>2</sup> )		
		Mieszanie Mixing	Rozrost końcowy Tin proof	Wypiek Baking
Albuminy <sup>1</sup> Albumins	0,85	108,00	20,00	13,40
Globuliny <sup>1</sup> Globulins	0,41	52,20	9,67	6,45
Gliadyny <sup>1</sup> Gliadins	1,89	241,00	44,60	29,70
Gluteniny <sup>1</sup> Glutenins	2,65	338,00	62,50	41,70
Puroindoliny <sup>2</sup> Puroindolines	0,06	7,64	1,42	0,94
Białko ogółem <sup>1</sup> Total protein	5,79	737,00	137,00	91,00
Pentozany rozpuszczalne w wodzie <sup>3</sup> Water soluble pentosans	0,54	68,80	12,70	8,50
Wolne lipidy polarne <sup>1</sup> Free polar lipids	0,62	79,00	14,60	9,75
Lipidy polarne ogółem (wliczając lipidy skrobi) <sup>1</sup> Total polar lipids (including starch lipids)	1,15	146,00	27,10	18,10

1. Oszacowanie Örnebro i wsp. [21] na podstawie cytowanych niżej danych pierwotnych.  
Estimated by Örnebro et al. [21], on the basis of cited below references.
2. Przyjęto za Blochetem i wsp. [4] średnią zawartość 0,1% puroindolin w mące pszennej.  
Mean puroindolines content 0,1% in wheat flour was adopted according to Marion et al. [4]
3. Przyjęto średnią zawartość pentozańców w mące pszennej oraz udział pentozańców rozpuszczalnych w wodzie, wynoszący 50% pentozańców ogółem wg danych cytowanych przez Michniewicz [20].  
Mean pentosans content in wheat flour and water soluble pentosans content 50% of total pentosans were adopted according to data reported by Michniewicz [20].

albuminy i globuliny bardzo silnie różnią się zdolnością dyspergowania w środowisku wodnym. Albuminy i globuliny mogą dyspergować do postaci pojedynczych cząste-

czek, podczas gdy prolaminy i gluteniny pęcznieją i ulegają rozległej polimeryzacji, tworząc „nierozpuszczalną”, przestrzenną matrycę glutenową. Różnice w budowie i właściwościach chemicznych tych białek znajdują bardzo silne odzwierciedlenie w różnicach ich właściwości wykazywanych na granicach faz.

Badania roli właściwości powierzchniowo czynnych białek zbóż na granicach faz występujących w cieście prowadzone są na układach modelowych, przy użyciu preparatów ogólnych poszczególnych klas białek oraz wyodrębnionych czystych frakcji białkowych. Badane są: zdolność obniżania napięcia powierzchniowego, kinetyka adsorpcji i warunki równowagi warstw zaadsorbowanych lub rozpostartych (błonki Langmuira i Langmuira–Blodget) na granicy faz. Określane są właściwości fizykochemiczne (grubość warstwy, konformacja przestrzenna białek) oraz mechaniczne (reologiczne) warstw zaadsorbowanych.

Wpływ typu białka i jego koncentracji na wartość ciśnienia powierzchniowego warstwy zaadsorbowanej na granicy faz woda – powietrze był przedmiotem badań prowadzonych przez Kellera i wsp. [14]. Badane grupy białek pszenicy wg klasyfikacji Osborne'a były dyspergowane w jednakowych warunkach środowiska (0,01 M bufor octanowy o pH 6,0 zawierający 4% NaCl, temperatura 21,5°C), po czym rozpościerane w znanych stężeniach na granicy faz w wannie Langmuira. Odnotowane przez tych autorów wartości ciśnienia powierzchniowego warstw zaadsorbowanych na powierzchni rozdziału faz wynosiły w warunkach równowagi 7–29 mN/m, zależnie od typu i od koncentracji białka. Studium to pozwoliło autorom ustalić następujący szereg aktywności powierzchniowej białek pszenicy: albuminy < globuliny < gliadyny < gluteniny. Z kolei według innych autorów aktywność powierzchniowa gliadyn jest wyższa niż glutenin [7].

Właściwości powierzchniowo czynne fazy wodnej ciasta (ang. dough liquor) badał Sahi [22]. Faza wodna ciasta, zawierająca m.in. zdyspergowane białka i polisacharydy, które nie wchodzi w trwałe połączenia z matrycą glutenową, a także pewna ilość lipidów rodzimych pszenicy, była wyodrębniona z ciasta na drodze ultrawierowania. Sahi stwierdził, że preparaty fazy wodnej ciasta otrzymane z mąki o słabej wartości wypiekowej zawierały więcej lipidów, niż preparaty uzyskane z mąki o dobrej wartości wypiekowej. Zarazem tworzone przez nie błony powierzchniowe na granicy woda – powietrze charakteryzowały wyższe wartości ciśnienia powierzchniowego, niż w przypadku fazy wodnej ciasta z mąk o dobrych wartościach wypiekowych. Uzyskane przez tego autora wyniki badań pozwoliły na sformułowanie wniosku, że napięcie powierzchniowe w błonie granicznej pęcherzyków gazu w cieście nie jest parametrem rozstrzygającym o wartości technologicznej mąki. Istotniejsze znaczenie mają właściwości reologiczne warstwy granicznej. Błony powierzchniowe tworzone na granicach faz przez białka mają właściwości lepkosprężyste [16, 19]. Często strukturę tych błon określa się jako pseudożelową. Cząsteczki lipidów natomiast, jak również niektórych

białek, przede wszystkim niskocząsteczkowych białek globularnych, wykazują dużą mobilność na granicy faz i nie tworzą struktur ciągłych. Jeżeli w materiale technologicznie słabszym udział lipidów w warstwie granicznej był większy, to w konsekwencji następowała destabilizacja warstwy granicznej oraz obniżenie udziału cech sprężystych w jej właściwościach lepkościowych.

W przypadku dwóch występujących w mące pszennej białek zdolnych do wiązania lipidów, puroindoliny-a i puroindoliny-b, wyizolowanych po raz pierwszy przez Blocheta i wsp. [4], maksymalne ciśnienie powierzchniowe w warstwie adsorpcyjnej wynosiło, zależnie od autorów, od 17 do 22,2 mN/m [4, 17, 21].

Szczególnie wiele uwagi poświęcono badaniu właściwości powierzchniowo czynnych gliadyn i glutenin. Tchoegl i Aleksander [25] badali wpływ warunków środowiska na proces rozpościerania proszku glutenu witalnego na granicach faza woda – powietrze i woda – olej, a także na właściwości reologiczne utworzonych błon powierzchniowych. Proszek glutenowy rozpościerany był na granicy faz, w których fazę wodną stanowił bufor o pH 6,8 i sile jonowej  $\mu = 0,1$  (warunki standardowe), 10% wodny roztwór salicylanu sodu (zrywanie wiązań wodorowych i mostków solnych) lub 24% roztwór wodny mocznika. Błony na granicy woda – olej charakteryzowała znacznie wyższa sztywność, niż błony na granicy woda – powietrze. Lepkość i sprężystość błony granicznej rosła jeszcze przez długi czas po osiągnięciu przez układ stanu równowagi napięcia powierzchniowego, gdy fazę wodną stanowił bufor lub roztwór mocznika, co wskazywało na rosnące sieciowanie białek na powierzchni granicznej i usztywnienie błony granicznej. Jedynie w środowisku 10% salicylanu sodu następował niemal całkowity zanik cech sprężystych błony powierzchniowej, a jej lepkość powierzchniowa była bardzo niska. Sugerować to może silną desorpcję cząsteczek białek glutenowych z powierzchni międzyfazowej w następstwie zrywania wiązań wodorowych i mostków solnych.

Czynniki genetyczne i odmianowe oraz różnorodne warunki upraw (glebowe i klimatyczne) sprawiają, że wchodzące w skład mąki poszczególne frakcje białek glutenowych mogą różnić się w istotny sposób pod względem struktury pierwszorzędowej, a w następstwie tego wykazywać różnice w strukturach wyższorzędowych. W związku z tym silnie zróżnicowana jest ich zdolność polimeryzacji oraz gęstość usieciowania tworzonej matrycy glutenowej, co objawia się w skali technologicznej silnym zróżnicowaniem właściwości funkcjonalnych, w tym powierzchniowo czynnych, ciasta [13]. Ogólnie można przyjąć, że cząsteczki białkowe o niższej masie cząsteczkowej rozprzestrzeniają się lub adsorbują na granicy faz szybciej, niż cząsteczki o wyższych masach, zwłaszcza zaś niż agregaty ponadcząsteczkowe [8, 18, 24]. Wartości ciśnień powierzchniowych kształtowanych w obecności poszczególnych gliadyn lub glutenin często są dość zbliżone, lecz ilość cząsteczek potrzebnych do utworzenia warstwy monomolekularnej jest dla różnych frakcji różna, zróżnicowane są też wła-



ściwości reologiczne powierzchni granicznej [24]]. W tab. 3. przedstawiono, obliczone w oparciu o dostępne dane doświadczalne, szacunkowe ilości poszczególnych frakcji gliadynowych oraz dwóch silnie powierzchniowo czynnych składników glutenin potrzebnych do utworzenia warstwy monomolekularnej, przyjmując, że cząsteczki te mają budowę pręcikową [21].

Tabela 3

Ważniejsze właściwości fizykochemiczne białek gliadynowych i gluteninowych pszenicy.  
Major physicochemical properties of gliadins and some glutenin fractions.

Składnik chemiczny ciasta Dough chemical component	Masa cząsteczkowa Molecular weight (Da)	Wymiary Dimensions (nm)	Warstwa monomolekularna Monolayer coverage (mg/m <sup>2</sup> )	Liczba wiązań disulfidowych Disulphide bonds
α-gliadyny α-gliadins	31 000	11,7 × 3,1	1,4 – 6,7	3
β-gliadyny β-gliadins	31 000	11,7 × 3,1	1,4 – 6,7	3
γ-gliadyny γ-gliadins	33 000	12,5 × 3,2	1,4 – 6,7	4
ω-gliadyny ω-gliadins	44 000 – 74 000	15,4 × 3,2	1,8 – 10,4 <sup>a)</sup>	0
Glutenina podjednostka 1DX5 o wysokiej masie cząsteczkowej Glutenin HMW subunit 1DX5	88 000	50 × 1,8	1,6 – 56	–
Glutenina peptyd 58 kDa Glutenin 58 kDa peptide	58 000	34 × 1,8	1,0 - 39	–

<sup>a)</sup> Przyjęto masę cząsteczkową ω-gliadyny 52 000.

Molecular weight 52 000 was taken for ω-gliadin.

Źródło: wg Örnebro i wsp. [21]

W licznych badaniach właściwości granicy faz obsadzonej gliadynami lub gluteninami pochodzącymi z pszenicy o słabej i dobrej wartości wypiekowej stwierdzono, że ciśnienia powierzchniowe uzyskane przy tej samej koncentracji białek były bardzo zbliżone. Jednak właściwości reologiczne uzyskanych błon powierzchniowych były wyraźnie zróżnicowane [24], analogicznie jak w przypadku wcześniej omówionych właściwości powierzchniowych fazy wodnej ciasta [15, 22].

W przypadku białek glutenowych reorganizacja i odfaldowanie ich cząsteczek podczas adsorpcji na granicy faz może sprzyjać tworzeniu międzycząsteczkowych mostków disulfidowych, podobnie jak sprzyjać temu powinna obecność substancji utleniających w środowisku bądź obróbka cieplna białek. Obecność reduktorów powinna przynosić skutek odwrotny. Podstawowym narzędziem badań interakcji pomiędzy składnikami na granicy faz są metody reologii powierzchni.

Lundh i wsp. [18] badali wpływ procesu kompresji i rozciągania powierzchni granicznej na ciężary cząsteczkowe białek glutenowych o wysokich wartościach (*HMW*), zaadsorbowanych na granicy faz. Metodą elektroforezy SDS-PAGE wykazali oni, że materiał zebrany z powierzchni granicznej, poddanej cyklom kompresji – rozciągania, zawierał więcej białek o wysokim ciężarze cząsteczkowym i więcej wiązań disulfidowych, niż wyjściowe dyspersje białkowe. Po każdym cyklu kompresji – rozciągania wzrastała sprężystość warstwy granicznej, co również wskazywało na przyrost liczby wiązań sieciujących, zaadsorbowanych na powierzchni cząsteczki białkowej.

Jak dotąd, ponad wszelką wątpliwość dowiedziono wpływu odczynu środowiska na właściwości reologiczne białek gliadynowych zaadsorbowanych na granicy faz. Uczyniono to porównując właściwości powierzchniowych błon gliadynowych, rozpostartych na fazie wodnej, utworzonej z wody dejonizowanej oraz na roztworach kwasu askorbinowego i kwasu solnego o pH 4,0 [27]. Nie udało się przy tym potwierdzić oczekiwanego wpływu kwasu askorbinowego na przyspieszenie powstawania mostków disulfidowych wskutek utleniania dostępnych grup sulfhydrylowych.

Eliasson i Silverio [9] wykazali, że obróbka cieplna glutenu wpływa w istotny sposób na jego właściwości powierzchniowo czynne. Według przeprowadzonych przez nich badań, kinetyka wzrostu ciśnienia powierzchniowego rozpostartej warstwy cząstek glutenu poddanego zabiegom cieplnym ulegała przyspieszeniu w zakresie od temperatury pokojowej do 55°C, po czym malała, osiągając minimum przy 100°C. Zdaniem autorów zaobserwowana tendencja odzwierciedlała przebieg szybkości reakcji wymiany grupy disulfidowe/reszty sulfhydrylowe. Do temperatury ogrzewania 65°C obserwowano zjawisko desorpcji cząsteczek białkowych do wnętrza fazy wodnej. Powyżej tej temperatury powstająca białkowa warstwa graniczna stawała się trwałą.

Istotne znaczenie dla poznania mechanizmu tworzenia ciasta ma też zbadanie zachowania się białek zbożowych podczas ich sorpcji na powierzchniach stałych. W strukturze ciasta odpowiada to ich sorpcji na powierzchni ziarenek skrobiowych.

Zagadnienie to badali Örnebro i wsp. [21], studiując przebieg sorpcji  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - oraz  $\omega$ -gliadyny, a także podjednostki gluteniny o wysokim ciężarze cząsteczkowym 1DX5 oraz peptydu gluteninowego o ciężarze cząsteczkowym  $58 \cdot 10^3$  Da na powierzchni hydrofobowej. Jak wiadomo, cząsteczka  $\omega$ -gliadyny różni się od pozosta-

łych gliadyn brakiem mostków disulfidowych, wyższym ciężarem cząsteczkowym (tab. 3) oraz tym, że podczas gdy cząsteczki  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -gliadyny (oraz glutenin) zbudowane są częściowo z sekwencji aminokwasowych niepowtarzalnych, a częściowo z powtarzalnych, to  $\omega$ -gliadyna zbudowana jest niemal całkowicie z peptydów o sekwencji powtarzalnej. Autorzy ci stwierdzili, że  $\alpha$ -,  $\beta$ - i  $\gamma$ -gliadyny wykazywały znacznie silniejsze powinowactwo do powierzchni hydrofobowej niż  $\omega$ -gliadyny. Adsorpcja  $\omega$ -gliadyny na powierzchni hydrofobowej była blokowana w obecności  $\alpha$ -,  $\beta$ - i  $\gamma$ -gliadyn. Najprawdopodobniej frakcje te miały również zdolność wypierania z powierzchni stałych już zaadsorbowanych cząsteczek  $\omega$ -gliadyny. Także w przypadku badanych frakcji gluteninowych stwierdzili oni, że cząsteczki te adsorbowały się na powierzchni hydrofobowej przede wszystkim poprzez domeny o strukturze sekwencji niepowtarzalnej.

## Podsumowanie

Właściwości powierzchniowo czynne białek zbożowych odgrywają istotną rolę we wszystkich etapach procesu technologicznego prowadzenia ciasta i wypieku pieczywa. Ich znaczenie ujawnia się również podczas wykorzystywania surowców zbożowych w innych działach technologii żywności, a także przy zastosowaniach technicznych, np. podczas prób wykorzystania glutenu i skrobi zbożowej do produkcji cienkich folii itp. [19, 21]. Opanowanie sztuki sterowania właściwościami powierzchniowo czynnymi surowców zbożowych jest zatem jedną z istotnych umiejętności zawodowych technologa żywności.

## Literatura

- [1] Amend T., Belitz H.-D.: Microscopical studies of water/flour systems. *Z. Lebensmittel-Untersuchungen u. -Forschung*, 1989, **189**, 103-109.
- [2] Barlow K.K., Buttrose M.S., Simmonds D.H., Vesik M.: The nature of starch-protein interface in wheat endosperm. *Cereal Chem.*, 1973, **50**, 443-454.
- [3] Bernardin J.E., Kasarda D.D.: Hydrated protein fibrils from wheat endosperm. *Cereal Chem.*, 1973, **50**, 529-536.
- [4] Blochet J.-E., Chevalier C., Forest E., Pebay-Peyroula E., Gautier M.F., Jourdir P., Pezolet M., Marion D.: Complete amino acid sequence of puroindoline, a new basic and cystine rich protein with a unique tryptophan-rich domain, isolated from wheat endosperm by Triton X-114 phase partitioning. *FEBS Letters*, 1993, **329**, 336-340.
- [5] Bloksma A.H.: Effect of surface tension in the gas-dough interface on the rheological behavior of dough. *Cereal Chem.*, 1981, **58**, 481-486.
- [6] Brooker B.E., The Role of Fat in the Stabilisation of Gas Cells in Bread Dough. *J. Cereal Sci.*, 1996, **24**, 187-198.

- [7] Eliasson A.-C., Larsson K.: *Cereals in Breadmaking. A Molecular Colloidal Approach*. Marcel Dekker, Inc., New York 1993.
- [8] Eliasson A.-C., Lundh G.: Rheological and interfacial behaviour of some wheat protein fractions. *J. Texture Stud.*, 1989, **20**, 431-441.
- [9] Eliasson A.-C., Silverio J.: Interfacial behaviour of gluten proteins after heat treatment. W: Bushuk W., Tkachuk R. (eds): *Gluten Proteins 1990*, American Association of Cereal Chemists, St Paul, 1990, pp. 11-20.
- [10] Eliasson A.-C., Silverio J., Tjerneld E.: Surface properties of wheat flour-milling streams and rheological and thermal properties after hydration. *J. Cereal Sci.*, 1991, **13**, 27-39.
- [11] Eliasson A.-C., Tjerneld E.: Adsorption of wheat proteins on wheat starch granules. *Cereal Chem.*, 1990, **67**, 366-372.
- [12] Evers A.D., Kerr H.R., Castle J.: The significance of fibrils produced by hydration of wheat proteins. *J. Cereal Sci.*, 1990, **12**, 207-221.
- [13] Jankiewicz M.: The protein complex of bread dough as an interacting system. *Nahrung*, 1975, **19**, 775-783.
- [14] Keller R.C.A., Orsel R., Hamer R.J.: Competitive adsorption behaviour of wheat flour components and emulsifiers at an air-water interface. *J. Cereal Sci.*, 1997, **25**, 175-183.
- [15] Kędzior Z., Pruska-Kędzior A., Czarnecka M.: Charakterystyka zwilżalności mąk pszennych pasażowych. *Materiały XXXI Sesji Naukowej KTChŻ PAN, Poznań, 14.-15.09.2000.*, s. 17.
- [16] Kokelaar J.J., Prins A.: Surface rheological properties of bread dough components in relation to gas bubble stability. *J. Cereal Sci.*, 1995, **22**, 53-61.
- [17] Koojiman M., Orsel R., Hamer R.J., Bekkers A.C.A.P.A.: The insertion behaviour of wheat puroindoline-a into diacylglycerol films. *J. Cereal Sci.*, 1998, **28**, 43-51.
- [18] Lundh G., Eliasson A.-C., Larsson K.: Crosslinking of wheat storage protein monolayers by compression/expansion cycles at the air/water interface. *J. Cereal Sci.*, 1988, **7**, 1-9.
- [19] MacRitchie F.: *Chemistry at Interfaces*. Academic Press, San Diego 1989.
- [20] Michniewicz J.: *Pentozany w technologii zbóż*. Roczn. Akademii Rolniczej w Poznaniu - Rozprawy Naukowe, 1995, zeszyt 261.
- [21] Örnebro J., Nylander T., Eliasson A.C.: Interfacial behaviour of Wheat Proteins. *J. Cereal Sci.*, 2000, **31**, 195-221.
- [22] Sahi S.S.: Interfacial properties of the aqueous phases of wheat flour doughs. *J. Cereal Sci.*, 1994, **20**, 119-127.
- [23] Sarker D.K., Wilde P.J., Clark D.C.: Enhancement of protein foam stability by formation of wheat arabinoxylan-protein crosslinks. *Cereal Chem.*, 1998, **75**, 493-499.
- [24] Tao H.P., Cornell D.G., Kasarda D.D.: Surface and optical properties of wheat glutenin monolayers. *J. Cereal Sci.*, 1989, **10**, 5-18.
- [25] Tschoegl N.W., Alexander A.E.: The surface chemistry of wheat gluten. II. Measurements of surface viscoelasticity. *J. Colloid Sci.* 1960, **15**, 168-182.
- [26] Van Vliet T., Janssen A.M., Bloksma A.H., Walstra P.: Strain hardening of dough as a requirement for gas retention. *J. Texture Studies*, 1992, **23**, 439-460.
- [27] Wannerberger L., Nylander T., Eliasson A.-C., Tatham A.S., Fido R.J., Miles M.J., McMaster T.J.: Interaction between  $\alpha$ -gliadin layers. *J. Cereal Sci.*, 1997, **26**, 1-13.

**THE ROLE OF SURFACE PROPERTIES OF CEREAL PROTEINS IN DETERMINING DOUGH AND CRUMB STRUCTURE**

## Summary

Proteins effect significantly retention of gas bubbles in dough. Gas bubbles are retained in dough due to stabilisation of interface between liquid phase (dough) and gas phase (gas bubble interior) as a consequence of adsorption and structural re-organisation of protein molecules at the interface followed by lowering of interfacial tension and changing of surface rheology. Current knowledge on surface properties of flour, dough as well as wheat albumins, globulins, gliadins and glutenins was reviewed in this article.

**Key words:** cereal proteins, dough structure, crumb structure. ☒

**KOMITET TECHNOLOGII I CHEMII ŻYWNOŚCI PAN****AKADEMIA ROLNICZA WE WROCŁAWIU****WYDZIAŁ NAUK O ŻYWNOŚCI**

oraz

**POLSKIE TOWARZYSTWO TECHNOLOGÓW ŻYWNOŚCI****ODDZIAŁ WROCŁAWSKI**

zapraszają na

XXIV Sesję Naukową

Komitetu Technologii i Chemii Żywności PAN

**JAKOŚĆ POLSKIEJ ŻYWNOŚCI W PRZEDEDNIU INTEGRACJI  
Z UNIĄ EUROPEJSKA**

10–11 wrzesień 2003, Wrocław

Przewidywane sekcje problemowe

- Żywność pochodzenia roślinnego
- Żywność pochodzenia zwierzęcego
- Biotechnologia w produkcji żywności
- Jakość żywności i żywienia
- Metody badania żywności

W sprawach organizacyjnych prosimy kontaktować się z sekretarzem Sesji:

Dr inż. Agnieszka Kita

tel.: (0 71) 3205 239, fax: (0 71) 3284 124

e-mail: ktichz@wnoz.ar.wroc.pl