

WPŁYW ŚRODKÓW SPIENIAJĄCYCH NA STRUKTURĘ PIANEK AGAROWYCH

Ewa Jakubczyk, Agnieszka Kamińska

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, SGGW
ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa
e-mail: ewa_jakubczyk@sggw.pl

Streszczenie. Celem pracy było określenie wpływu środków spieniających na strukturę żeli agarowych. Porowate pianki uzyskiwano poprzez dodanie piany do agarowego zolu. Jako środki spieniające stosowano albuminę jaja kurzego, tween 20 (monolaurynian polioksyetylenosorbitanu), GMS 400 i GMS 900 (mieszanka mono i diglicerydów). Strukturę pian obserwowano przy zastosowaniu mikroskopu stereoskopowego. Dodatkowo określono właściwości fizykochemiczne pianek agarowych (zawartość wody, gęstość, porowatość pozorną). Analiza obrazu wykazała, że środki spieniające istotnie wpływają na strukturę żelowych pianek agarowych. Rozkłady parametrów geometrycznych (pole przekroju porów, średnica Fereta, współczynnik kształtu) porów w piankach z tween 20 były węższe, co wskazywało na bardziej jednorodną strukturę. Jednocześnie wprowadzenie powietrza do zolu agarowego wpływało na utworzenie porowatej struktury piany stałej. Dodatek tween 20 wpływał na czterokrotny wzrost porowatości względnej pianek w porównaniu do pianek agarowych z glicerydami GMS 400 i GMS 900.

Słowa kluczowe: piany stałe, żel agarowy, porowatość, środki spieniające, analiza obrazu

WSTĘP

Pęcherzyki gazu towarzyszą produkcji żywności od wieków i decydują o walorach smakowych piwa, czy o unikalnej teksturze tak zróżnicowanych produktów jak ciasta, ptasie mleczko, desery mleczne, czy nugaty. Dziś produkty o strukturze piany zawierające znaczną frakcję pęcherzyków gazu postrzegane są jako produkty niskokaloryczne, co jest jednym z czynników decydujących o wyborze tych produktów przez konsumentów [17]. W wyniku aeracji uzyskuje się produkty o obniżonej gęstości, większej porowatości i atrakcyjnej teksturze [16].

Proces wytwarzania pian może zachodzić w wyniku mechanicznego ubijania, mieszania lub przez wprowadzenie gazów obojętnych [18]. Metoda wytwarzania pian i zastosowane parametry podczas produkcji mają istotny wpływ na jej teksturę i strukturę [8]. Zastosowanie substancji wspomagających pienienie ułatwia proces ubijania oraz wpływa na utrzymanie drobnej dyspersji gazu (powietrza, azotu, dwutlenku węgla) w materiale. Produkty porowate, napowietrzane są często niestabilne termodynamicznie, co może prowadzić do zapadania i załamania ich struktury. W procesie produkcyjnym konieczna jest wówczas stabilizacja wytworzonej struktury [1]. Pęcherzyki gazu w pianie mogą być stabilizowane zarówno poprzez czynniki powierzchniowo czynne (emulgatory) w fazie ciekłej lub poprzez zestalenie fazy ciągłej np. poprzez dodanie substancji żelującej [23]. Do wspomagania pienienia używa się emulgatorów zawierających nasycone kwasy tłuszczowe (mono- i diglicerydy), oraz substancji białkowych (białko jaja kurzego, izolaty białka sojowego) [19].

W ocenie jakości pian brane są pod uwagę nie tylko właściwości teksturalne, ale również strukturalne. Metody mikroskopowe i inne techniki obrazowe są uzupełnieniem oceny makroskopowych właściwości produktów żywnościowych. Zmiany właściwości na poziomie makroskopowym spowodowane przetworzeniem, są wynikiem zmian na poziomie molekularnym oraz mikroskopowym [9]. Wykorzystanie metod mikroskopowych umożliwia dostarczenie pełnej informacji o strukturze materiału [7].

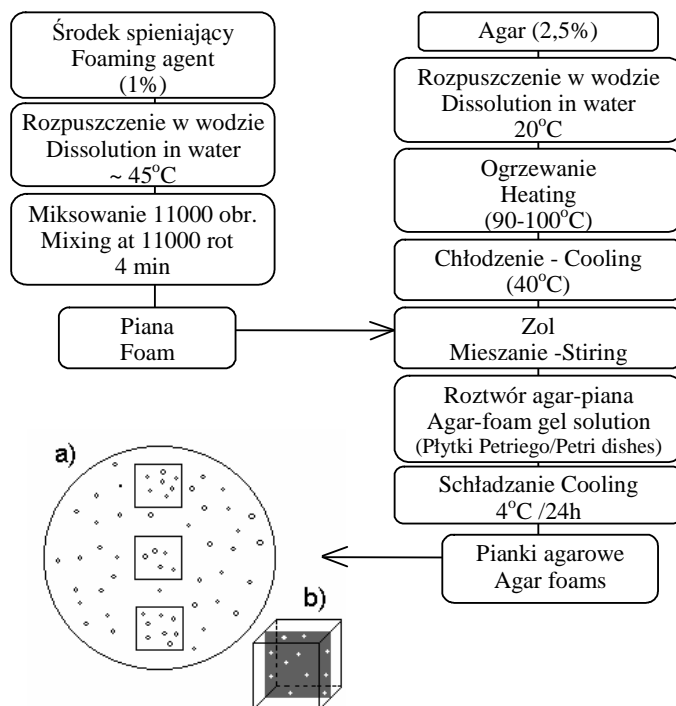
Ocena struktury w nieprzezroczystych i mętnych układach jest skomplikowana, stąd wykorzystuje się techniki mikroskopowe przygotowania preparatów, a następnie analizuje się je w mikroskopie świetlnym lub skaningowym [24]. Wielkość pęcherzyków gazu jest istotnym parametrem w ocenie struktury materiału, gdyż pory o określonej wielkości mogą wpływać na wygląd produktu, i jego teksturę [2]. Sarker i in. [21] oraz Lau i Dickinson [13] podkreślają iż przy wytwarzaniu pian konieczna jest ocena ilości wprowadzonej frakcji gazowej oraz rozkładu wielkości pęcherzyków gazu w produkcie aby zapewnić odpowiednią jakość żywności.

Charakterystyka zmian zachodzących w materiale podczas procesu technologicznego jest utrudniona ze względu na złożoną strukturę żywności. Istnieje, zatem konieczność wprowadzenia uproszczonego modelu opisującego produkt spożywczy aby umożliwić analizę czynników wpływających na jakość produktów [12]. Do sporządzania modelowych żeli stosuje się najczęściej agar, skrobię i krystaliczną celulozę. Schrader i Litchfield [22] stwierdzili, że system składający się z agaru i mikrokrystalicznej celulozy był dobrym materiałem jako model produktu spożywczego.

Celem pracy było określenie wpływu dodatku środków spieniających do zolu agarowego na wytworzenie struktury pianowej (porowatej) w żelu agarowym.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem badawczym był 2,5% żel agarowy (Frimulsion AG firmy Cesalpinia Food Spa), który bez substancji dodatkowych stanowił próbę kontrolną. Piankowe żele agarowe uzyskano poprzez dodatek do zolu agarowego piany przygotowanej zgodnie z metodyką podaną przez Falade i in. [5] (rys.1). Jako środki spieniające zastosowano albuminę jaja kurzego (Fluka), monolaurynian polioksyetylenosorbitanu- tween 20 (Aldrich), oraz mieszaninę mono- i diglicerydów o różnym stopniu zmetylowania GMS 400 i GMS 900 (Wytwórnia Aromatów Spożywczych, Barwników i Związków Zapachowych). Utworzoną pianę dodawano do rozpuszczonego agaru w takiej ilości aby dodatek środka spieniającego wynosił 1% w stosunku do suchej masy żelu kontrolnego.



Rys. 1. Schemat przygotowania pianek agarowych i sposobu pobierania próbek do analizy obrazu: a) – miejsce pobrania na płytkach Petriego, b) – badany przekrój materiału

Fig. 1. Diagram of preparation of agar foams and method of sample collection for image analysis: a) – location of collection in Petri dishes, b) – investigated cross-section of material

Zestawiony żel i pianki agarowe krojono w kostki o boku 10 mm w celu określenia objętości i masy próbek, następnie wyznaczono charakterystyczne parametry fizykochemiczne żeli: zawartość wody (PN-A-79011-3/98), masę pojedynczej kostki i jej objętość zgodnie z metodyką podaną przez Mazza [15]. Na podstawie wyznaczonych parametrów określono gęstość materiałów, a porowatość żeli z dodatkiem środków spieniających wyliczono z zależności:

$$\varphi = 1 - \frac{\rho_k}{\rho_s} \quad (1)$$

gdzie: φ – porowatość pozorna, ρ_k – gęstość żelu piankowego ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), ρ_s – gęstość żelu agarowego – kontrolnego ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

Na rysunku 1 a i b przedstawiono sposób pobierania próbek do badań mikroskopowych. Skrawki materiału wykrawano z trzech wybranych obszarów z przekroju materiałów. Obserwacje struktury prowadzono przy wykorzystaniu mikroskopu stereoskopowego MST 131 połączonego z kamerą SSC~DC58AP/1 (Sony) rejestrującą obraz. Obróbki otrzymanych zdjęć dokonano przy zastosowaniu programu komputerowego Mocha v.1.2 (Jandel Scientific).

Analizie komputerowej obrazu poddano kilkanaście zdjęć w celu uzyskania parametrów dla 600 porów badanych materiałów. Dla każdego z porów w pianach za pomocą programu Mocha określono: powierzchnię płaskiego przekroju, średnicę Fereta oraz współczynnik kształtu S będący charakterystyką krągłości materiału. Sporządzono rozkłady mierzonych wielkości przy wykorzystaniu programu Excel. Wyznaczono średnie wartości średnicy Fereta D oraz na podstawie rozkładu wielkości określono wartość średnią średnicy Fereta d dla przedziału o największej częstotliwości (udziale procentowym).

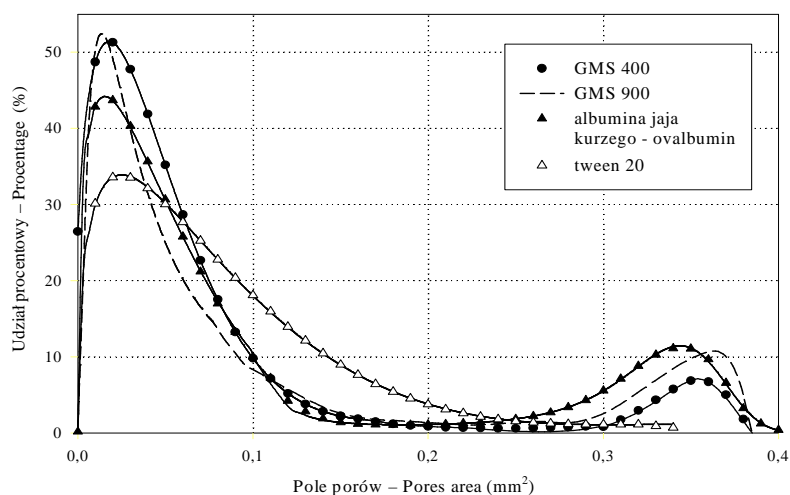
Wyniki poddano obróbce statystycznej z wykorzystaniem pakietu Statgraphics Plus v. 3.0 przeprowadzając analizę wariancji z porównaniem średnich testem Tukeya przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ oraz w celu porównania rozkładów wielkości mierzonych przeprowadzono test zgodności Kołmogorowa-Smirnowa przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

Obrazy mikroskopowe uzyskane dla żelu agarowego (kontrolnego) wskazywały na obecność jedynie pojedynczych pęcherzyków powietrza. Żel kontrolny traktowano, zatem jak materiał nieporowaty. Zastosowanie środków spieniających i wprowadzenie piany do zolu wpływało na uzyskanie materiału o strukturze piany stałej.

W celu określenia homogeniczności pianek, pobierano do analizy próbki z trzech wybranych obszarów (rys. 1 a), analiza statystyczna wykazała, iż rozkład wielkości porów w trzech badanych obszarach w pianie nie różnił się istotnie. Test Kołomogorowa-Smirnowa wskazywał na brak różnic między badanymi rozkładami wielkości mierzonych z różnych obszarów badanej pianki. Do dalszych badań wybrano próbki wykrawane ze środka pianki zestalonej na płycie Petriego.

Histogramy rozkładu badanych parametrów wskazują na istotny wpływ zastosowanego środka spieniającego na pole przekroju porów powietrznych w żelowych piankach agarowych (rys.2). Dla pianek z dodatkiem albuminy jaja kurzego, oraz glicerydów GMS 400 i GMS 900 obserwowano rozkłady dimodalne pola przekrojów porów, zaś dla żelu spienianego tween 20 charakterystyczny był rozkład logarytmiczny z jednym pikiem. W badaniach układów pianowych najczęściej obserwowanym rozkładem wielkości porów powietrznych jest rozkład z jednym ekstremum. Rozkład taki uzyskano przy zastosowaniu metylcelulozy podczas spieniania puree owocowego [11] czy albuminy w układzie pianowym z gumą ksantanową [10]. Lim i Barigou [14] badając strukturę produktów porowatych takich jak napowietrzona czekolada, musy owocowe czy ptasie mleczko, obserwowali występowanie logarytmiczno-normalnego rozkładu wielkości porów. W przypadku niektórych pian spożywczych rozkład wielkości porów może mieć charakter dimodalny, wynikający często z flokulacji pęcherzyków podczas ostaniego etapu ubijania piany [4, 8].



Rys. 2. Wpływ zastosowanych środków spieniających na pole przekroju powierzchni porów w piankach agarowych

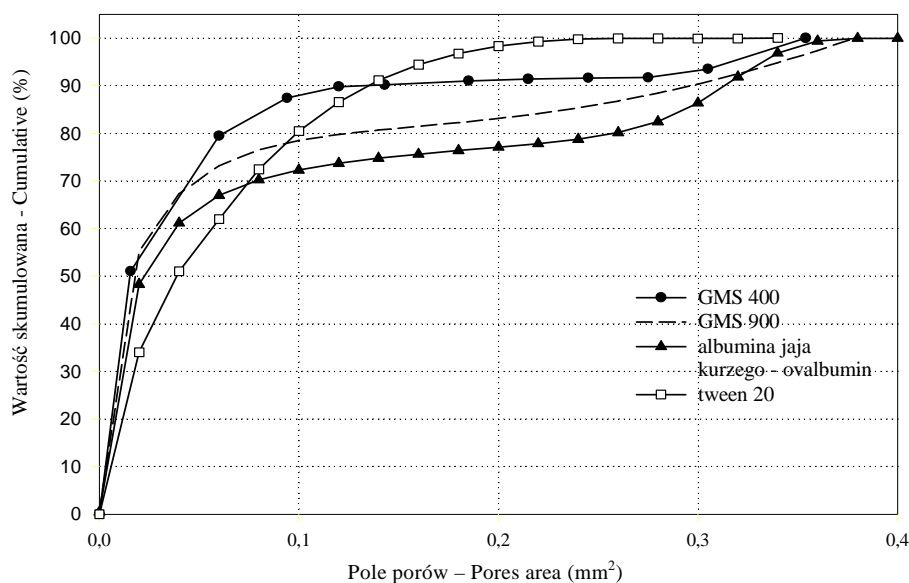
Fig. 2. Effect of use of foaming agents on cross-section area of pores of agar foams

Dla wszystkich badanych materiałów w przedziale pól przekroju porów od 0,01 do 0,04 mm² rejestrowano największą ich ilość (rys. 2) Aczkolwiek procentowy udział porów o tym zakresie pól wynosił dla pianek z tween 20-33,5%, z albuminą – 43,6%, a dla żeli agarowych spienianych glicerydami GMS 400 i GMS 900 nieznacznie powyżej 50%. Charakterystyka rozkładu pola przekroju porów wskazuje na mniejsze zróżnicowanie pól porów dla pianek z tween 20. Dla pianek z glicerydami i albuminą jaja kurzego charakterystyczne było występowanie frakcji 7-10% porów o powierzchni 0,33-0,36 mm². Falade i in. [5] zastosowali jako czynnik spieniający i stabilizujący albuminę oraz monosterynian glicerolu GMS. Spienione puree z fasoli było stabilne jedynie z dodatkiem GMS, a pęcherzyki gazu wytworzone w pianie z dodatkiem albuminy szybko ulegały zniszczeniu, co prowadziło do zapadania piany. Na właściwości albuminy jako środka spieniającego wpływa wiele czynników m.in. pH środowiska, stężenie innych protein czy obecność wolnych jonów [6].

Dodanie czynnika spieniającego nie tylko wpływa na uzyskanie nowej struktury w postaci piany, ale również odgrywa istotną rolę w jej stabilizacji. Jednym z najczęściej stosowanych środków spieniających jest monosterynian glicerolu GMS [20]. Analiza krzywych skumulowanych pól przekroju porów wskazywała na istotne statystycznie różnice między przebiegiem krzywych uzyskanych dla pianek z dodatkiem glicerydów GMS 400 i GMS 900 (rys. 3). Pole przekroju poniżej 0,1 mm² miało aż 89% porów w piankach z GMS 400 i 79% z GMS 900. Charakterystyczny był również przebieg krzywej skumulowanej uzyskanej dla pianek z tween 20, której kształt różnił się od krzywych otrzymanych dla pozostałych badanych materiałów. Z krzywych skumulowanych widać również, że porów w piankach z tween 20 o powierzchni przekroju $\leq 0,02$ mm² jest aż 98%, a w przypadku pianek z dodatkiem albuminy porów tych jest 78%. Największe spotykane pory w piankach z tween 20 miały powierzchnię przekroju 0,34 mm², w pozostałych materiałach pory osiągały powierzchnię 0,4 mm². Węższy zakres wartości przekrojów pól powierzchni świadczy o mniejszym zróżnicowaniu wielkości porów w piankach z tween 20.

Na podstawie rozkładu wielkości średnicy Fereta badanych pianek określono jej średnią wartość w przedziale o największej częstotliwości występowania porów (tab. 1). Wśród badanych materiałów najmniejszą średnicą d porów występujących najczęściej charakteryzowała się pianka z GMS 900, zaś zastosowanie jako środka spieniającego tween 20 zwiększało wartość średnicy o 25%. Określono również wartość średnią średnicy Fereta D z całego zakresu wielkości porów. Uzyskane wielkości średnic porów wskazują na znaczne różnice w wielkości porów w piankach, o czym świadczą wysokie wartości odchyłeń standardowych. Wyznaczanie średniej z populacji porów, gdy rozkład nie jest normalny nie dostarcza pełnej informacji o rozmiarach porów aczkolwiek charakteryzuje ich rozrzut wielkości. Najmniejsze wartości odchylenia standardowego uzyskano dla

pianek z tween 20, co potwierdza mniejsze zróżnicowanie wielkości porów w tym materiale w porównaniu do pozostałych badanych pianek. Kampf i in. [10] określając pole powierzchni porów powietrznych w pianie z albuminą i aliginianem PGA obserwowali duże zróżnicowanie wielkości porów, często wartość odchylenia standardowego była równa lub przewyższała średnią wartość pola powierzchni.



Rys. 3. Wpływ zastosowanych środków spieniających na krzywe skumulowane pól porów w piankach agarowych

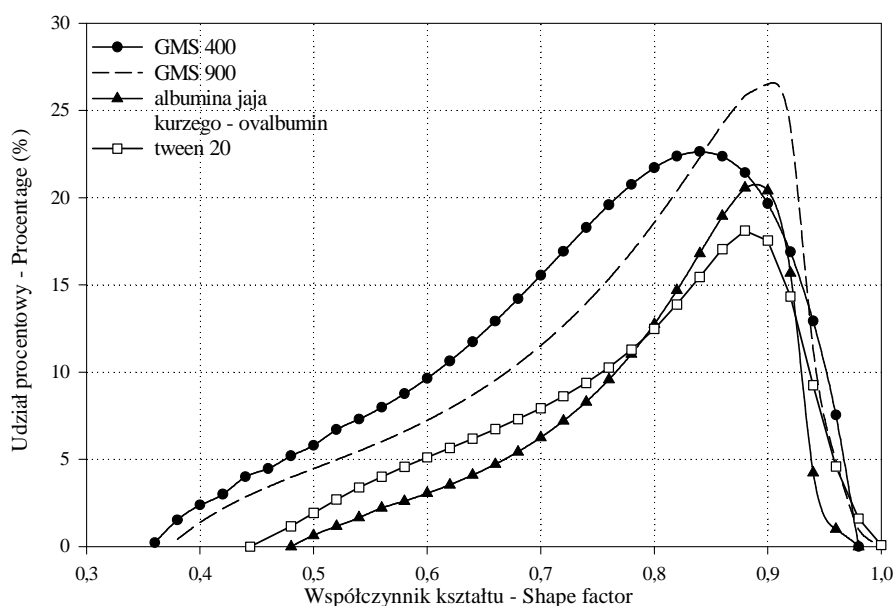
Fig. 3. Effect of use of foaming agents on cumulative curves of pores area of agar foams

Tabela 1. Średnie wartości średnic D i d dla badanych pianek żelowych, gdzie: D – średnica przekroju porów, d – średnica przekroju porów w przedziale o największej częstotliwości

Table 1. Average values of diameter D , d of the investigated foam gels, where: D – diameter of cross-section of pores, d – diameter of cross-section of pores in the class with the highest frequency

Rodzaj pianki żelowej Kind of gel foam	d (mm)	D (mm)
Agar + albumina jaja kurzego	$0,151 \pm 0,019$	$0,476 \pm 0,310$
Agar + ovalbumin		
Agar + GMS 400	$0,159 \pm 0,028$	$0,348 \pm 0,321$
Agar + GMS 900	$0,138 \pm 0,021$	$0,306 \pm 0,334$
Agar + tween 20	$0,174 \pm 0,015$	$0,315 \pm 0,189$

Kolejnym istotnym parametrem w ocenie struktury materiałów jest współczynnik kształtu, jego wartość równa 1 charakteryzuje obiekty o kształcie koła. Największe wartości współczynnika obserwowano dla pianek z GMS 900, a ich udział procentowy w populacji porów wynosił 26,5%, dla pozostałych materiałów obserwowano pory o nieznacznie mniejszych wartościach współczynnika kształtu 0,88 – dla pianek z albuminą i tween 20 oraz 0,84 dla pianek z GMS 400. Mimo mniejszych wartości współczynnika kształtu uzyskanych dla niektórych pianek nadal są to wartości wskazujące na kształt przekroju porów zbliżony do koła. Charakterystyczny jest również rozkład wartości współczynnika kształtu dla poszczególnych materiałów. Pianki z glicerydami GMS charakteryzowały się występowaniem frakcji porów o kształtach wydłużonych elips i o mniejszych wartościach współczynnika kształtu bliskich 0,4. Układy pianowe w których pory powietrzne charakteryzują się przekrojem zbliżonym do koła są bardziej stabilne od pian zawierających pory wydłużone i eliptyczne [3].

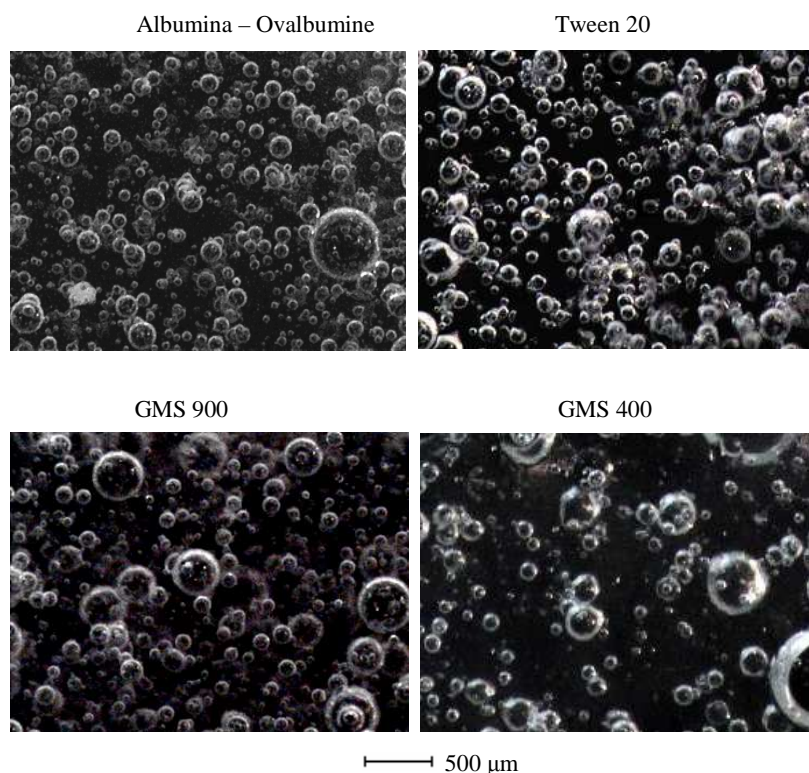


Rys. 4. Wpływ zastosowanych środków spieniających na kształt porów w piankach agarowych
Fig. 4. Effect of use of foaming agents on shape of pores of agar

Na rysunku 5 zaprezentowano przykładowe obrazy mikroskopowe uzyskane dla pianek agarowych przy produkcji, których wykorzystano środki spieniające. Pianki z glicerydami GMS charakteryzują się obecnością pojedynczych dużych porów powietrznych. Natomiast pianki z tween 20 oraz albuminą zawierają mniej

zróżnicowane pod względem wielkości pory, ale obrazy mikroskopowe wskazują na występowanie większej ich ilości w przekroju materiału.

Oprócz badań strukturalnych określono również podstawowe parametry fizykochemiczne badanych materiałów. Oznaczenia wykonano również dla żelu agarowego (kontrolnego), który stanowił próbę porównawczą z piankami agarowymi. Tabela 2 przedstawia wyniki oznaczeń gęstości, zawartości wody oraz porowatości pozornej badanych materiałów. Spośród badanych układów najniższą gęstość uzyskano dla żelu z tween 20 – $0,65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, dodatek tego środka spieniającego wpływał na obniżenie gęstości o 22% w porównaniu z żelem kontrolnym. Dla pozostałych pianek wyniki oznaczeń gęstości były zbliżone i mieściły się w przedziale $0,72\text{-}0,84 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.



Rys. 5. Obrazy mikroskopowe struktury pianek agarowych
Fig. 5. Microscopic images of structure of agar foams

Największą wilgotność miał żel kontrolny, co wynikało z procedury jego przygotowania. Żele z dodatkami charakteryzowały się zwiększoną zawartością

suchej masy, co spowodowane było obecnością substancji dodanej oraz słabszym mechanizmem wiązania wody. Porowatość pianek określono przy założeniu, że żel kontrolny jest układem, który nie zawiera porów (pęcherzyków powietrza). Największą porowatość pozorną spośród badanych materiałów uzyskano dla pianek z dodatkiem tween 20 – 0,23 i albuminą – 0,14. Pianki z glicerydami GMS charakteryzowały się aż 4-krotnie mniejszą porowatością niż pianki tween 20.

Tabela 2. Parametry fizykochemiczne żeli
Table 2. Physicochemical parameters of gels

Rodzaj żelu Kind of gel	Zawartość wody Water content (%)	Gęstość żelu Density of gel (g·cm ⁻³)	Porowatość pozorna Apparent porosity
Agarowy kontrolny Agar control	97,8 ± 0,5	0,84 ± 0,01	–
Agar + albumina jaja kurzego Agar + ovalbumin	95,7 ± 0,8	0,72 ± 0,02	0,14 ± 0,02
Agar + GMS 400	91,1 ± 1,6	0,79 ± 0,01	0,06 ± 0,01
Agar + GMS 900	92,9 ± 1,0	0,79 ± 0,02	0,06 ± 0,02
Agar + tween 20	95,9 ± 0,9	0,65 ± 0,03	0,23 ± 0,03

Wprowadzone podczas mieszania powietrze i wytworzona piana nadają „lekkość” strukturze piankowego żelu, dzięki czemu jego gęstość ulega obniżeniu, zwiększa się porowatość w porównaniu do żelu agarowego. Obrazy mikroskopowe oraz wyniki oznaczeń fizykochemicznych wskazują na wyraźnie większą porowatość pianek z albuminą i tween 20 niż pianek z dodatkiem glicerydów. Jednocześnie materiały te różnią się rozkładem wielkości porów powietrznych. Najmniej zróżnicowanym materiałem o wyrównanej wielkości porów jest pianka z tween 20 dla której uzyskano najmniejsze rozrzuty wokół wartości średnich parametrów charakteryzujących wielkość i kształt porów. Dla wszystkich badanych materiałów najwięcej porów znajdowało się w przedziale pól przekroju porów 0,01-0,04 mm², aczkolwiek dla pianek z tween 20 nie obserwowano frakcji porów o bardzo dużych rozmiarach, które występowały w innych badanych piankach.

WNIOSKI

Na podstawie analizy mikroskopowych obrazu płaskich przekrojów piankowych żeli oraz charakterystyki właściwości fizykochemicznych można sformułować następujące wnioski:

1. Rodzaj zastosowanego środka spieniającego miał istotny wpływ na wielkość porów w zestalonych żelach. Pianki agarowe z dodatkiem tween 20 charak-

teryzowały się węższym zakresem pól przekroju powierzchni porów, mniejszym rozrzutem wokół wartości średnich średnicy Fereta, co wskazywało na największą jednorodność tych pianek spośród analizowanych materiałów.

2. Dla żeli spienianych z GMS oraz albuminą obserwowano rozkład z dwoma dominującymi przedziałami pól przekroju porów: 0,01-0,04 oraz 0,33-0,36 mm², co wpływało na niejednorodność materiałów. Obecność dużych porów była znacząca gdyż stanowiły one kilka procent wszystkich zmierzonych porów.

3. Parametr geometryczny – współczynnik kształtu osiągał wartości od 0,84 do 0,9, co wskazywało na kształt przekroju porów zbliżony do koła. Najmniej jednorodnymi materiałami pod względem kształtu przekroju porów były pianki z albuminą i GMS 900.

4. Pozorna porowatość żeli spienionych określona na podstawie parametrów fizykochemicznych wskazywała na większą porowatość żeli z albuminą i tween 20 od wartości uzyskanej dla pianek z glicerydami.

5. Zastosowanie jako środka spieniającego tween 20 umożliwiło uzyskanie pianek o największej porowatości i znacznie bardziej wyrównanej wielkości i kształcie porów w porównaniu do pozostałych materiałów.

PIŚMIENNICTWO

1. **Brooker B.E.:** The role of fat in stabilization of gas cells in bread dough. *Journal of Cereal Science*, 24, 187-198, 1996.
2. **Campbell G.M., Mougeot E.:** Creation and characterization of aerated food products. *Trends in Food Science & Technology*, 10, 283-296, 1999.
3. **DeVries A.J.:** Foam stability a fundamental investigation of the factors controlling the stability of foams. *Rubber Chemistry and Technology*, 31, 1142-1205, 1958.
4. **Dickinson E.:** An introduction to food colloids. New York: Oxford University Press, 1992.
5. **Falade K.O., Adeyanju K.I., Uzo-Peters P.I.:** Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. *European Food Research and Technology*, 217(6), 486-491, 2003.
6. **Foegeding E.A., Luck P.J., Davis J.P.:** Factors determining the physical properties of protein foams. *Food Hydrocolloids*, 20, 284-292, 2006.
7. **Fornal J.:** Mikrostruktura surowców i produktów roślinnych: Metody analizy struktury żywności. Materiały seminarium dla słuchaczy studium doktoranckiego SGGW w Warszawie, Olsztyn, 12-15.01.1998.
8. **Jakubczyk E., Niranjana K.:** Transient development of whipped cream properties. *Journal of Food Engineering*, 77(1), 79-83, 2006.
9. **Kaláb M., Allan-Wojtas P., Miller S.S.:** Microscopy and other imaging techniques in food structure analysis. *Trends Food Sci. Technol.*, 6 (6), 177-186, 1995.
10. **Kampf N., Martinez C.G., Corradini M.G., Peleg M.:** Effect of two gums on the development, rheological properties and stability of egg albumen foams. *Rheologica Acta* 42, 259-268, 2003.
11. **Karim A.A., Wai C.Ch.:** Characteristics of foam prepared from starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree by using methyl cellulose. *Food Hydrocolloids*, 13, 203-210, 1999.
12. **Lamb J., Göğüş F.:** Choice of model gel systems for the food dehydration studies. *Drying Technology*, 16 (1/2), 297-309, 1998.

13. **Lau C.K., Dickinson E.:** Instability and structural change in an aerated system containing egg albumen and invert sugar. *Food Hydrocolloids*, 19(1), 111-121, 2005.
14. **Lim K.S., Barigou M.:** X-ray micro-computed tomography of cellular food products. *Food Research International*, 37, 1001-1012, 2004.
15. **Mazza G.:** Dehydration of carrots. Effect of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. *J. Food Technol.*, 18(1), 113-123, 1983.
16. **Mleko S.:** Stabilizatory stosowane do produkcji wyrobów cukierniczych. *Przemysł Piekarski i Cukierniczy*, 2, 24-26, 1997.
17. **Niranjan K.:** An introduction to bubble mechanics in foods. In: *Bubbles in Food*, (eds. G.M. Campbell, C. Webb, S.S. Pandiella, K. Niranjan), Eagan Press, St Paul, Minnesota, 3-9, 1999.
18. **Richardson G., Bergenståhl B., Langton M., Stading M., Hermansson A-M.:** The function of α -crystalline emulsifiers on expanding foam surfaces. *Food Hydrocolloids*, 18(4), 655-663, 2004.
19. **Rutkowski A., Gwiazda S., Dąbrowski K.:** Substancje dodatkowe i składniki funkcjonalne żywności. *Agro & Food Technology*, 3(3.1), 146-147, 1997.
20. **Sankat C.K., Castaigne F.:** Foaming and drying behaviour of ripe bananas. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 37, 517-525, 2004.
21. **Sarker D.K., Bertrand D., Chtioui Y., Popineau Y.:** Characterization of foam properties using image analysis. *Journal of Texture Studies*, 29, 15-42, 1998.
22. **Schrader G.W., Litchfield J.B.:** Moisture profiles in model food gel during drying: measurement using magnetic resonance imaging and evaluation of the Fickian model. *Drying Technology*, 10(2), 295-332, 1992.
23. **Stauffer C.E.:** *Emulgatory*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa. 2001.
24. **Whitworth M.B., Alava J.M.:** The imaging and measurement of bubbles in bread doughs. In: *Bubbles in Food*, (eds. G.M. Campbell, C. Webb, S.S. Pandiella, K. Niranjan), Eagan Press, St Paul, Minnesota, 221-231, 1999.

EFFECT OF FOAMING AGENTS ON STRUCTURE OF AGAR FOAMS

Ewa Jakubczyk, Agnieszka Kamińska

Department of Food Engineering and Process Management, Warsaw Agricultural University
ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa
e-mail: ewa_jakubczyk@sggw.pl

Abstract. The aim of this work was to determine the effect of foaming agents on the structure of agar gels. The porous foams were obtained by addition of foam to an agar gel solution. Ovalbumin, tween 20 (polyoxyethylene sorbitan monolaurate), GMS 400 and GMS 900 (mono- and diglycerides) were used as foaming agents. The structure of foams was observed by using a stereoscopic microscope. Additionally, some physicochemical properties of agar foams (water content, density and apparent porosity) were examined. Image analysis showed that foaming agents significantly affected the structure of agar foams. The distributions of geometric parameters (cross section area of pores, Feret's diameter, and shape factor) of pores obtained for foam with tween 20 were more narrow, which indicated more uniform structure. Incorporation of foam into agar sol resulted in production of porous structure of a solid foam. Added tween 20 caused 4-fold increase of apparent porosity of agar foams in comparison to foams with GMS.

Keywords: solid foams, agar gel, porosity, foaming agents, image analysis