

STANISŁAW MLEKO, BOHDAN ACHREMOWICZ

WPLYW SZYBKOŚCI ZAMRAŻANIA ORAZ STOSOWANIA ZAMIENNIKÓW TŁUSZCZU NA STRUKTURĘ LODÓW

Streszczenie

W artykule omówiono wpływ szybkości zamrażania oraz stosowania zamienników tłuszczu na strukturę lodów. Temperatura i czas zamrażania ma największy wpływ na wielkość i kształt kryształów lodu oraz na ilość i rozmiar banieczek powietrza. Tłuszcz w lodach można zastępować stosując imitacje pochodzenia węglowodanowego lub białkowego. Ich działanie jest różne w zależności od budowy i właściwości funkcjonalnych. Stosując zamienniki tłuszczu należy pamiętać o odmiennym od tłuszczu oddziaływaniu ze składnikami zapachowymi żywności.

Szybkość zamrażania a struktura lodów

Lody charakteryzują się specyficzną strukturą, na którą wpływa występowanie w nich emulsji typu olej w wodzie, jak i bogatej w tłuszcz piany. Białko zawarte w lodach pełni trojaką rolę. Jest emulgatorem tłuszczu, adsorbując się na granicy faz przyczynia się do powstawania piany oraz powoduje wzrost lepkości lodów przez wiązanie wody. Wewnątrz maszyny do produkcji lodów zachodzi zawiązywanie się kryształów lodu oraz napowietrzanie. Dalszy wzrost kryształów lodu następuje później podczas procesu twardnienia. W produkcie opuszczającym maszynę praktycznie nie zachodzi już powstawanie zarodków krystalizacji. Ilość zarodków krystalizacji oraz ich ostateczna wielkość wpływa na jakość powstających lodów. Przyjmuje się, że jeżeli średnia wielkość kryształów lodów będzie większa niż 55 μm , to lody będą w ustach dawać odczucie piaszczystej tekstury [3].

Ogromny wpływ na teksturę lodów ma szybkość zamrażania. Caldwell i wsp. [4] używali krio-mikroskopii skaningowej w celu przebadania wpływu czasu zamrażania na względny rozkład występowania różnych struktur w lodach. Użycie krio-mikroskopii skaningowej umożliwiło badanie struktury lodów w jej naturalnym stanie,

eliminując w ten sposób jej chemiczne utrwalenie. Elektrogram skaningowy otrzymuje się po sublimacyjnym usunięciu wody z powierzchni zamrożonej próbki. Stosowali oni trzy prędkości zamrażania: bardzo szybkie za pomocą ciekłego azotu, zamrażanie kontaktowe w temp. -40°C oraz wolne w temp. -25°C .

W strukturze lodów wyróżnili oni cztery fazy: kryształki lodu, banieczki powietrza, kuleczki tłuszczowe oraz serum. Faza lodowa złożona jest z małych sferycznych struktur o wielkości $0,2\text{--}0,4\ \mu\text{m}$, składających się ze skoncentrowanych roztworów soli oraz zawieszin ciał stałych. Szybkie zamrażanie powoduje powstawanie dużej ilości małych banieczek powietrza oraz małych kryształów lodu mających słabo zarysowane krawędzie [4]. Banieczki powietrza zajmowały prawie 50% pola powierzchni przekroju lodów. Słabo zarysowane krawędzie kryształków lodu sugerują, iż bardzo szybkie zamrażanie nie pozwoliło na odpowiednią koncentrację substancji rozpuszczonych: cząsteczki wody nie miały wystarczającej ilości czasu do migracji do punktów zamarzania.

W przypadku kontaktowego zamrażania, które z zasadzie odpowiadało warunkom przemysłowym (-40°C , 1 godzina), otrzymano inną strukturę lodów. Kryształy lodu były stosunkowo małe (średnica ok. $25\ \mu\text{m}$), jednakże większe niż otrzymane w przypadku szybkiego zamrażania. Krawędzie kryształów lodu były dobrze zarysowane, co świadczy o tym, że substancje rozpuszczone miały więcej czasu do migracji od granicy zamarzania. Banieczki powietrza charakteryzowały się większymi rozmiarami i wiele z nich miało wydłużony kształt.

Jeszcze inną strukturę lodu zaobserwowano w przypadku zastosowania wolnego zamrażania (-25°C , 5 godzin). Przeciętna wielkość kryształów lodu wynosiła $35\ \mu\text{m}$. Obniżyła się znacznie powierzchnia banieczek powietrza na powierzchni lodów.

Odpowiednio dobrana szybkość zamrażania lodów powinna pozwalać na powstawanie odpowiednich kryształów lodu i równocześnie nie powodować załamania się struktury piany [4]. Wraz ze zmniejszaniem się szybkości zamrażania średnia powierzchnia kryształów lodu wzrasta, a średnia powierzchnia powietrza maleje ze względu na powstawanie większych banieczek powietrza. Najbardziej odpowiednie warunki do powstania prawidłowej struktury lodów stwarza więc pewna optymalna prędkość zamrażania. W przypadku kontaktowego zamrażania w temp. -40°C przez 1 godzinę wzrost kryształów jest odpowiedni, a nie następuje jeszcze intensywne łączenie się ze sobą banieczek powietrza.

Poczyniono również obserwacje struktury lodów otrzymanych przez szybkie zamrażanie i przechowywanych przez 2 tygodnie w temperaturze -25°C . Pole powierzchni kryształów lodu wzrosło, a pole powierzchni banieczek powietrza zmalało. Szybkie zamrażanie za pomocą ciekłego azotu spowodowało zestalenie się wody w formie bezpostaciowej, ponieważ nie było wystarczającej ilości czasu na jej krystalizację.

zając. Jednakże przechowywanie lodów w temperaturze powyżej punktu przejścia w formę bezpostaciową (około -35°C) spowodowało, iż serum lodów ze stanu szklistego przeszło w stan lepkoelastycznego płynu, co pozwoliło na rekrytalizację wody [3].

Lody o obniżonej zawartości tłuszczu

Jednym z podstawowych składników lodów jest mleko. Białka mleka pełnią funkcję emulgatora tłuszczu. Podczas napowietrzania lodów białka umożliwiają powstawanie piany. Banieczki powietrza są pokryte warstewką białka a cała struktura jest stabilizowana za pomocą skrytalizowanego tłuszczu.

Możliwe jest jednakże otrzymywanie lodów nie zawierających w swoim składzie tłuszczu. Można to osiągnąć na kilka sposobów, np. zwiększając proporcjonalnie zawartość innych składników, jednakże stosuje się to tylko w przypadku częściowego usunięcia tłuszczu. Dodaje się również nieco więcej wody, aby poprawić teksturę i stabilność. W miarę jak zmniejsza się zawartość tłuszczu należy zmieniać stosunki ilościowe pomiędzy składnikami węglowodanowymi a białkowymi, aby utrzymywać odpowiednie właściwości reologiczne. Bardziej aktywne podejście polega na zastosowaniu substancji imitujących stały tłuszcz. Imitacje tłuszczu są substancjami modyfikującymi teksturę i dającymi efekt sensoryczny podobny do tego jaki daje tłuszcz, bądź modyfikują interakcje zachodzące pomiędzy pozostałymi składnikami. Często stosuje się mieszaniny różnych imitacji tłuszczu, aby zastąpić liczne i różnorodne role jakie tłuszcz odgrywa w lodach. Skład imitacji tłuszczu oparty jest na węglowodanach, bądź na białkach. Pochodne skrobiowe stanowią dość liczną grupę. Niektóre z nich to: „Maltrin 040 Maltodextrin” (zhydrolizowana skrobia kukurydziana, Grain Processing Corp., USA), „Avicel” i „Oatrim” (oparte na celulozie), „N-Oil” (dekstryny z manio-ku, National Starch and Chemical Corp., USA), „Tapiocaline” (częściowo skleikowa-na skrobia manioku, Tipiak, Francja) oraz „Paselli SA2” (częściowo zhydrolizowana skrobia ziemniaczana, Avebe, Holandia). Substancje te można ogrzewać, a ich wartość kaloryczna wynosi tylko około 4 kcal/g suchej masy [5].

Imitacje tłuszczu oparte na białkach nie mogą oczywiście również zastąpić tłuszczu w produkcie we wszystkich jego funkcjach, jednakże w takich produktach jak lody, będących częściowo układem emulsji typu olej w wodzie znajdują duże zastosowanie. Imitacje takie występują często w postaci mikrocząsteczek, które z łatwością imitują właściwości zemulgowanych kropelek tłuszczu.

Najprostszym rozwiązaniem stosowanym od wielu lat jest podwyższenie zawartości białek mleka w lodach, co w produktach o obniżonej zawartości tłuszczu daje poprawę odczucia sensorycznego i lepsze wiązanie wody [10]. Stosuje się w tym celu zarówno białka mleka w formie natywnej, jak i białka funkcjonalnie zmodyfikowane w celu poprawienia ich wodochłonności oraz zdolności emulgowania tłuszczu. Ko-

mercjalnym przykładem zastosowania białek do poprawienia właściwości produktów spożywczych jest produkowane w USA mleko o nazwie „Extra Light Milk” o zawartości tłuszczu 1%. W mleku tym podwyższono zawartość nietłuszczowych składników suchej masy z 9 na 11%, uzyskując smak i właściwości reologiczne mleka o zawartości tłuszczu 2% [7]. Do uzyskania odpowiedniego odczucia sensorycznego przyczyniają się przede wszystkim micelle kazeinowe działające jak mikrocząsteczki. Ostatnio opatentowano otrzymywanie skoncentrowanych, niezagregowanych miceli kazeinowych, które mogą być użyte jako zamiennik tłuszczu [9]. Micelle kazeinowe otrzymuje się w wyniku procesu ultrafiltracji odtłuszczonego mleka, i stosuje się je jako zamiennik tłuszczu w lodach i innych mrożonych deserach w stężeniu około 6%.

Wykorzystanie preparatu „Simplese” oraz „Dairy-Lo” do produkcji lodów

Najważniejszą grupę imitacji tłuszczu opartych na białku stanowią substancje otrzymywane w wyniku procesu mikrokoagulacji. Największe znaczenie wśród nich ma produkt pod nazwą „Simplese” (Nutra Sweet Co., USA). Zawiera około 20% białka o wysokiej wartości odżywczej, a jego wartość kaloryczna jest równa 1–2 kcal/g preparatu [8]. Zastosowanie „Simplese” do produkcji lodów dało produkt o niższej energetyczności i wyższej wartości odżywczej, ale o takich samych właściwościach reologicznych i charakterystyce topnienia, jakie wykazuje produkt o standardowej zawartości tłuszczu. Poprawiono w ten sposób również stopień napowietrzenia lodów. Białko zawarte w preparacie „Simplese” stabilizowało emulsję lodów działając na granicy fazy tłuszcz-woda, zmniejszając napięcie międzyfazowe [12].

Preparaty „Simplese” otrzymuje się w procesie termokoagulacji białek. Jest to proces polegający na ogrzewaniu zawiesiny o wysokiej zawartości białka przy jednoczesnym intensywnym mieszaniu. Substratem do produkcji preparatu „Simplese 100” jest 40% wodna zawiesina koncentratu białek serwatkowych o zawartości 50% białka i 30–35% laktozy w suchej masie, a do produkcji „Simplese 300” – 22% wodna zawiesina mieszaniny białka jaja kurzego z odtłuszczonego mlekiem, zawierająca około 12% białka. [13]. Do produkcji „Simplese 100” używa się również lecytyny w ilości 3%. Proces, w wyniku którego otrzymuje się ten preparat, jest prowadzony w specjalnym wymienniku ciepła zaopatrzonym w mieszadło. „Simplese 100” jest termokoagulowany przy pH 3,7–4,2 w temperaturze 117–120°C pod ciśnieniem $5,5\text{--}6,1 \cdot 10^5$ Pa przez 3–10 sekund. Następnie otrzymany mikrokoagulat poddaje się neutralizacji i suszeniu [13].

Innym zamiennikiem tłuszczu produkowanym przy użyciu białek serwatkowych jest produkt o nazwie „Dairy-Lo” (Ault Foods, Canada). Białka serwatkowe są w tym produkcie tylko częściowo zdenaturowane. Koncentrat białek serwatkowych otrzymywany w wyniku procesu ultrafiltracji poddaje się łagodnemu działaniu temperatury

w pH 6,1 (80°C przez 17 sekund). Powoduje to 60–80% denaturację białek serwatkowych [2]. Kontrolowana denaturacja powoduje częściowe rozfałdowanie i agregację białek. Tak łagodne ogrzewanie białek serwatkowych powoduje, iż zachowują one wiele ze swoich właściwości funkcjonalnych, które później umożliwiają zastosowanie tych białek jako zamienniki tłuszczu. Chodzi tutaj głównie o wodochłonność.

„Simplese” i „Dairy-Lo” mimo iż są otrzymywane z podobnych substratów pełnią rolę zamiennika tłuszczu w zupełnie inny sposób. „Simplese” działa bardziej w sposób niejako mechaniczny. Sferoidalne cząstki o wyrównanej wielkości (<3,0 μm) z łatwością przesuwiają się po sobie, co daje właściwości teksturalne przypominające tłuszcz. Na tej zasadzie działają wszystkie imitacje tłuszczu powstałe w wyniku mikrokoagulacji, niezależnie od tego, czy oparte są na białku, czy też na węglowodanach [6]. Ponieważ mikrocząsteczki przypominają zemulgowane kropelki tłuszczu, Simplese spełnia swą rolę zamiennika tłuszczu najlepiej zastępując go w produktach zawierających emulsje typu olej w wodzie, a do takich substancji zalicza się częściowo również lody.

W przeciwieństwie do „Simplese”, „Dairy-Lo” spełnia rolę zamiennika tłuszczu przede wszystkim z powodu dużej zdolności wiązania wody. Usunięty z lodów tłuszcz można zastąpić przez większy dodatek wody, jednakże jest to ograniczone wodochłonnością substancji zawartych w lodach. Wodę tę zatrzymuje więc „Dairy-Lo”. Kontrolowana denaturacja, w wyniku której powstaje ten produkt wpływa również na inne właściwości funkcjonalne tego zamiennika tłuszczu, umożliwiające użycie go jako imitację tłuszczu w lodach. Są to: zdolność do emulgowania, zdolność do stabilizowania piany oraz zapobieganie tworzenia się w lodach większych cząstek lodu [1].

Zamienniki tłuszczu a aromat żywności

Ważnym zagadnieniem wynikającym z zastosowania zamienników tłuszczu jest problem ich oddziaływania ze składnikami zapachowymi żywności. Tłuszcz zawarty w lodach reaguje z substancjami zapachowymi powodując ich sensoryczne zrównoważenie. Żaden z zamienników tłuszczu pochodzenia białkowego czy węglowodanowego nie daje z dodatkami zapachowymi takiego samego profilu sensorycznego. Aby zamiennik tłuszczu mógł rzeczywiście zastępować tłuszcz, proces nadawania zapachu lodom musi być tak zmodyfikowany, aby odzwierciedlał różnice, jakie występują w oddziaływaniach zapach-tłuszcz a zapach-zamiennik tłuszczu. Badania z użyciem Simplese wykazały, że substancja ta nie oddziałuje ze składnikami zapachowymi w porównywalnym stopniu do oddziaływań tłuszczu [11]. Tłuszcz rozpuszcza wiele substancji zapachowych, zmniejsza ciśnienie ich par i redukuje w ten sposób intensywność zapachu. Wykorzystanie „Simplese” do produkcji lodów wymaga zatem

zmian w procesie nadawania im odpowiedniego zapachu w stosunku do układów zawierających tłuszcz.

LITERATURA

- [1] Anonim: *Unfold the Secret to Great-Tasting, Lowfat Foods*. Dairy-Lo technical brochure. Pfizer Food Science Group, New York, 1993.
- [2] Asher Y.J., Mollard M.A., Thomson S., Maurice T.J., Caldwell K.B.: *Whey and ice cream products and processes*. International patent appl. WO 93/02567, Feb. 18, 1993.
- [3] Barbut S.: *Protein gel ultrastructure and functionality*. W: *Protein Functionality in Foods Systems*. (edited by Hettiarachchy, N.S., Ziegler, G.R.), New York, 1994.
- [4] Caldwell K.B., Goff H.D., Stanley D.W.: *A low-temperature scanning electron microscopy study of ice cream. II. Influence of selected ingredients and processes*. *Food Struct.*, **11**, 1992, 11.
- [5] Dziezak J.P.: *Fats, oils and fat substitutes*. *Food Technol.*, **7**, 1989, 66.
- [6] Glicksman M.: *Hydrocolloids and the search for the „oily grail”*. *Food Technol.*, **45**, 1991, 94.
- [7] Keck B.: *The Extra Light story: A lesson in cooperation*. *Dairy Field Today*, **3**, 1990, 38.
- [8] O'Sullivan M., Jones S.A.: *Low-calorie foods and options for product development*. *Food Technol. Int. Europe*, **4**, 1991, 151.
- [9] Podolski J.S., Habib M.: *Concentrated, substantially nonaggregated casein micelles as a fat/cream substitute and a method for reducing the content in food products*. U.S. patent 5,143,741, Sept. 1. 1992.
- [10] Riisom T.: *Milk proteins as fat replacers*. *Scand. Dairy Information*, 1991, 4, 28.
- [11] Schirle-Keller J.P., Chang H.H., Reineccius G.A.: *Interaction of flavor compounds with microparticulated proteins*. *J. Food Sc.*, 1992, 6, 1448.
- [12] Schmidt K., Lundy J., Reynolds J., Yee L.N.: *Carbohydrate or protein based fat mimicker effects on ice milk properties*. *J. Food Sc.*, **4**, 1993, 761.
- [13] Singer N.G., Wilcox R., Podolski J.S., Chang H.-H., Pookote S., Dunn J.M., Hatchwell L.: *Cream substitute ingredient and food products*. U.S. patent 4,985,270, Jan. 15. 1991.

INFLUENCE OF FREEZE RATE AND FAT SUBSTITUTES ON ICE-CREAM STRUCTURE

S u m m a r y

In this article, influence of freeze rate and fat mimetics on the ice-cream structure was discussed. Freeze rate and temperature have the greatest influence on size and shape of ice crystals and on quantity and size of air bulbs. Ice-cream fat can be replaced by carbohydrate or protein fat mimetics. Their activity is different and depends on their structure and functional properties. Utilizing fat mimetics their different interaction with aromatic compounds should be remembered. ☒