

KATARZYNA KYCIA

CZYNNIKI KSZTAŁTUJĄCE TEKSTURĘ SERÓW TOPIONYCH

Streszczenie

Tekstura jest podstawowym wyznacznikiem jakości serów topionych decydującym o ich funkcjonalności – głównej zalecie tych produktów. W pracy przedstawiono czynniki wpływające na kształtowanie tekstury serów topionych na podstawie dotychczasowych badań i praktyki technologicznej. Omówiono wpływ składu mieszanki do topienia – zawartości wody, białka i tłuszczu oraz wpływ warunków procesu technologicznego – obróbki mechanicznej (czasu i szybkości mieszania), obróbki termicznej (czasu i temperatury topienia) oraz warunków chłodzenia (szybkości chłodzenia) na podstawowe cechy tekstury serów topionych. Wyjaśniono wpływ dodatku topników, stopnia dojrzałości surowców serowych, zawartości wapnia i pH na twardość sera topionego.

Słowa kluczowe: ser topiony, tekstura, twardość

Wprowadzenie

Według definicji sformułowanej przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (ISO) pod pojęciem tekstury określa się wszystkie cechy mechaniczne, geometryczne oraz powierzchniowe produktu spożywczego, które mogą być odbierane przez człowieka za pomocą receptorów mechanicznych, dotykowych oraz ewentualnie wzrokowych i słuchowych [34]. Tekstura produktów spożywczych, obok wyglądu i smaku, jest jednym z podstawowych wyznaczników ich jakości [37]. W znaczący sposób decyduje o wyborze i preferencjach dokonywanych przez konsumenta, bowiem naturalne jest jej analizowanie metodami sensorycznymi [14, 38, 42]. Sery topione należą do produktów, w których zapewnienie właściwych cech tekstury jest jednym z podstawowych kryteriów oceny ich jakości. W dużej mierze tekstura sera topionego decyduje o jego rodzaju, funkcjonalności i przeznaczeniu. Dzięki możliwości różnorodnego kreowania jej cech, sery topione mogą występować w wielu formach handlowych, począwszy od podatnych na krojenie bloków, pojedynczych plasterków czy też kremowej postaci smarownych past i sosów serowych. Sery topione specjalnego prze-

znaczenia - będące składnikami innych produktów czy też produkowane dla potrzeb gastronomii (do hamburgerów, pizzy, tostów itp.) - mogą charakteryzować się odpowiednią lepkością i podatnością na topienie determinującą ich funkcjonalność. Z powyższych względów otrzymywanie serów topionych o pożądanym cechach tekstury wymaga znajomości i kontroli czynników mogących kształtować te cechy w czasie procesu technologicznego. Ser topiony jest układem złożonym, głównie ze względu na mnogość stosowanych do topienia surowców, dlatego też istnieje szeroka literatura fachowa na temat wpływu różnych czynników na teksturę serów topionych otrzymanych z różnych surowców i przy różnych parametrach topienia.

Finalne cechy tekstury serów topionych kształtowane są przez skład mieszanki do topienia (wybraną recepturę i surowce użyte do topienia) oraz warunki procesu technologicznego. Według Bowland i Foegeding [3] tekstura sera topionego jest fizyczną odpowiedzią gotowego produktu na całość procesów kształtujących jego powstawanie. Bardzo dużą rolę przypisuje się tutaj (zależnym od warunków procesu) interakcjom między poszczególnymi składnikami [13].

Mechanizm topienia

Określenie wpływu poszczególnych czynników na finalne cechy tekstury serów topionych wymaga zrozumienia procesu, w którym z różnorodnych surowców użytych do topienia, w trakcie obróbki termicznej i mieszania, powstaje jednorodna masa serowa. Początkowo masa ta przyjmuje postać płynnej emulsji, dopiero po schłodzeniu zmieniającej się w stabilny żel - z łatwością przyjmujący kształt nadany przez opakowanie. Utworzenie emulsji możliwe jest dzięki wykorzystaniu naturalnych emulgatorów – białek mleka, których właściwości emulgujące ulegają zwiększeniu pod wpływem dodatku topników. Działanie topników polega na usunięciu części wapnia z hydrofilowej strony łańcucha białkowego (na drodze wymiany jonowej wapnia zawartego w kazeinie na sód zawarty w topnikach). W rezultacie z nierozpuszczalnego parakazeinianu wapniowego powstaje rozpuszczalny parakazeinian sodu, co stanowi podstawę całego procesu topienia. Odwapnienie masy serowej powoduje rozluźnienie zagregowanej masy białkowej i uwolnienie z niej wolnych polipeptydów (tzw. peptyzację białka). Część z tych peptydów zostaje zużyta do emulgowania wolnego tłuszczu, który pod wpływem temperatury i ciągłego mieszania uległ wydzieleniu, a następnie rozproszeniu w poddawanej obróbce masie serowej. Białka, pełniące rolę emulgatorów, gromadząc się na granicy dwóch niemieszających się faz (wodnej i tłuszczowej), zanurzone częścią hydrofilową w jednej, a częścią hydrofobową w drugiej fazie stabilizują powstałą emulsję. Jednocześnie podczas topienia (obróbka termiczna i mieszanie) wielowartościowe aniony topników przyłączają się do cząsteczek białka, zwiększając ich właściwości hydrofilowe, w wyniku czego białka ulegają

uwodnieniu i pęcznieniu. Związanie dodatkowych ilości wody prowadzi do wzrostu lepkości całej masy serowej, powodując jej kremowanie [7, 8, 9].

Powstałe w czasie topienia sole wapniowe (np. pirofosforany wapnia), ze względu na małe rozmiary, lokalizują się pomiędzy łańcuchami białkowymi, w obrębie których dochodzi do powstawania jonowych wiązań wewnątrzłańcuchowych i międzyłańcuchowych indukujących tworzenie sieci żelowej [8]. W tym czasie między łańcuchami peptydowymi dodatkowo zaczynają tworzyć się inne wiązania: hydrofobowe, wodorowe, dwusiarczkowe, powodujące dalszy wzrost lepkości otrzymanej emulsji. Według Lee i wsp. [22] proces kremowania polega właśnie na oddziaływaniach między łańcuchami białkowymi i nie wymaga obecności tłuszczu w systemie. Podczas chłodzenia następuje utrwalenie się powstającego szkieletu białkowego oraz uzyskanego w czasie topienia stopnia dyspersji tłuszczu i innych składników. W rezultacie po schłodzeniu powstała emulsja zamienia się w żel, w obrębie którego zdyspergowane są kuleczki tłuszczowe. Dokładny mechanizm zachodzenia procesu kremowania oraz towarzyszące mu zjawiska nie są w dalszym ciągu całkowicie poznane. Wiadomo jednak, że zarówno rodzaj wytworzonej emulsji, jak i sposób jej przemiany w żel wpływają na teksturę gotowego wyrobu [7, 8, 9].

Skład mieszanki do topienia

Według Bowland i Foegeding [4], sery topione mogą być rozpatrywane jako wieloskładnikowe żele zbudowane ze szkieletu białkowego z zamkniętymi wewnątrz zdyspergowanymi w różnym stopniu kuleczkami tłuszczowymi. Tekstura tych żeli zależna jest od rodzaju i wzajemnych proporcji składników użytych do ich wyrobu, to jest wody, tłuszczu i białka, oraz od stopnia wzajemnych interakcji między tymi składnikami.

Woda

Dodatek wody do mieszanki do topienia jest warunkiem utworzenia stabilnej i gładkiej emulsji [21]. Woda rozpuszcza topniki, rozprasza składniki oraz uwadnia białka. Jej udział w gotowym produkcie zależy od rodzaju sera [7]. Jak podają Lee i wsp. [21], rynkowe sery topione typu smarownego zawierają między 40 a 60 % wody.

Woda wykazuje działanie plastyfikujące [28]. Odpowiedni jej dodatek umożliwia osiągnięcie pożądanej smarowności serów topionych czy ich odpowiedniej finalnej podatności na topienie (np. w serach mających formę indywidualnych plasterków przeznaczonych do hamburgerów). Uważana jest za składnik obniżający twardość serów topionych [17, 21, 32] oraz poprawiający ich podatność na topienie [17]. Wzrost jej zawartości powoduje zmniejszenie lepkości serów ze względu na obniżenie interakcji pomiędzy uwodnionymi i zbyt oddalonymi od siebie białkami [12]. Zwiększenie jej dodatku wpływa na twardość serów topionych w ten sam sposób, co podwyższenie pH masy serowej [23]. W badaniach prowadzonych przez Lee i wsp. [21] wzrost zawarto-

ści wody w systemach modelowych serów topionych wpływał na podwyższenie pH sera oraz tworzenie słabszego żelu.

Tłuszcz

Zawartość tłuszczu w suchej masie sera oraz stopień jego zemulgowania (rozbicia i rozproszenia kuleczek tłuszczowych w masie serowej) jest istotnym czynnikiem wpływającym na wybrane cechy tekstury serów topionych. Wiadomo, że tłuszcz mlekowy nadaje serom miękkość i smarowność. Dlatego też ser topiony o zawartości 43 % s.m. będzie serem twardym wtedy, gdy udział tłuszczu wyniesie 20 % s.m., a smarownym, gdy tłuszcz będzie stanowił 45 % s.m. [9]. Kiedy zawartość tłuszczu w dobrze zemulgowanym produkcie ulega zmniejszeniu, to sieć wiązań białkowych staje się mocniejsza, co prowadzi do twardej, zbitej i zwężonej struktury. Wpływ stopnia zdyspergowania tłuszczu, i zapewnienia odpowiedniego stosunku tłuszczu do białka, na teksturę serów topionych zostanie przedstawiony w dalszej części artykułu. Tłuszcz odgrywa także dużą rolę w postrzeganiu powierzchniowych cech tekstury serów topionych, wpływając na czucie doustne [35].

Dimitreli i Thomareis [12] nie stwierdzili znaczącego wpływu tłuszczu na lepkość pozorną badanych serów topionych w zakresie temperatury 55 - 95 °C. W tych warunkach cały tłuszcz obecny w systemie występował w formie płynnej, a za dużą lepkość emulsji odpowiadała faza ciągła zawierająca białko (obecność białka w fazie rozpraszającej emulsji typu olej w wodzie w znacznym stopniu determinuje reologiczne właściwości systemów).

Białko

Białko bierze udział w tworzeniu emulsji oraz prowadzi do powstania żelu, zapewniając tym samym „stały” stan sera (z ang. *solid nature*) [35]. Bowland i Foegeding [3], badając modelowe systemy serów topionych o stałej zawartości tłuszczu, stwierdzili, że o ich cechach reologicznych decyduje zawartość kazeiny. Przypuszcza się, że istnieje ścisła zależność między twardością serów a ilością zawartej w nich kazeiny [35]. Damodaran i Paraf [10] podają, że lepkość roztworów zawierających białka rośnie wraz ze wzrostem koncentracji tych makromolekuł w roztworze (co przypisuje się zwiększeniu ilości interakcji między peptydami). Dimitreli i Thomareis [12] stwierdzili, że wzrost zawartości białka w serach topionych prowadzi do wzrostu lepkości tych systemów.

Finalne cechy tekstury serów topionych w dużym zakresie kształtowane są przez ilość i formę występującego w nich białka. Uwolnione dzięki topnikowi z masy kazeinowej cząsteczki białkowe pełnią rolę emulgatorów oraz tworzą szkielet białkowy wchodząc w interakcje z innymi rozpuszczonymi w różnym stopniu cząsteczkami białkowymi. Zdolności emulgujące białek wpływają na rodzaj powstałej emulsji i zależą

między innymi od stopnia dojrzałości serów użytych do topienia, pH masy serowej oraz zawartości wapnia w hydrofilowej części łańcucha białkowego [36].

Stopień dojrzałości serów

Dojrzewanie serów podpuszczkowych prowadzi do znaczących przemian kazeiny, wpływając na jej zdolności emulgujące oraz sposób tworzenia sieci wiązań białkowych. Powstające w czasie dojrzewania rozpuszczalne peptydy są lepszymi emulgatorami niż natywna, nierozpuszczalna kazeina, ale z drugiej strony zbyt dalece posunięte dojrzewanie ogranicza możliwość powstawania wiązań między częściowo zhydrolizowanymi łańcuchami białkowymi. Burrington [5] podaje, że dobierając sery przeznaczone do topienia przydatne staje się oznaczenie w nich tzw. relatywnej zawartości kazeiny (z ang. *relative casein content* - RCC). RCC określa się stosunkiem azotu kazeinowego do azotu ogółem w serze przeznaczonym do topienia.

Sery młode zawierają kazeinę w postaci niemalże nienaruszonej (RCC wynosi w nich około 90 - 95 %) i tworzą bardzo stabilną emulsję o wysokiej zdolności wiązania wody [9]. Duża zawartość elastycznego niezhydrolizowanego białka w tych serach sprawia, że doskonale nadają się do produkcji serów twardych, blokowych i podatnych na krojenie. W miarę dojrzewania sera RCC obniża się, bowiem białko ulega stopniowej hydrolizie do prostych peptydów rozpuszczalnych w wodzie. Krótkie, pochodzące z bardzo dojrzałego sera podpuszczkowego, rozpuszczone peptydy mają znacznie mniejsze szanse, niż długie łańcuchy białkowe, typowe dla sera młodego, do wzajemnego oddziaływania ze sobą i tworzenia stabilnego szkieletu białkowego. Z tego względu użyty do topienia ser dojrzały prowadzi do otrzymania sera topionego o „krótkiej strukturze”, mniejszej twardości i elastyczności. W związku z tym sery dojrzałe, ale zawierające w dalszym ciągu około 60 - 75 % nienaruszonej kazeiny nadają się najlepiej do wyrobu serów smarowych [25, 36]. Użycie do topienia wyłącznie serów zbyt dojrzałych prowadzi do załamania się całej struktury białkowej. Z tego względu, wykorzystując do topienia sery bardzo dojrzałe, stosuje się jednocześnie dodatek sera młodego o dużej zawartości białka niezhydrolizowanego, kazeinę lub kazeiniany. Biorąc pod uwagę stopień dojrzałości surowców można odpowiednio kierować właściwościami gotowych produktów. Zwiększenie udziału serów dojrzałych w recepturze prowadzi do zmniejszenia twardości i gumowatości gotowych produktów [33]. Z kolei zbyt duży udział w recepturze sera młodego prowadzi do zbyt wysokiej lepkości topionej masy, przyczyniając się do obecności pęcherzyków powietrza w gotowym produkcie [9].

Jedną z istotnych cech serów topionych, wpływających na ich funkcjonalność, jest podatność gotowego produktu na topienie. Prowadzone do tej pory badania wykazały, że stopień dojrzałości surowców przeznaczonych do topienia ma wpływ na podatność serów topionych na działanie temperatury. Sery topione zawierające sery doj-

rzale wykazywały większą podatność na topienie niż sery wyprodukowane z udziałem serów młodych [19, 26].

Kwasowość (pH) masy serowej

Zmiany w zakresie kwasowości czynnej wpływają na konfigurację i rozpuszczalność białka, a więc te jego cechy, które w sposób bezpośredni decydują o emulgowaniu, peptyzacji i mechanizmie tworzenia struktury żelu [28]. Już niewielkie różnice w pH serów topionych zmieniają rodzaj interakcji występujących między łańcuchami białkowymi, co z kolei uwidacznia się w końcowej mikrostrukturze i właściwościach reologicznych produktu. Podatność na zmiany cech fizykochemicznych białek wywołana różnym pH sprawia, że zakres właściwego dla serów topionych pH jest stosunkowo wąski i mieści się w granicach 5,2 - 6,2 [8]. Przy pH bliskim punkowi izoelektrycznemu kazeiny (np. pH ~ 5,0) ser topiony charakteryzuje się dużą twardością i kruchością, podczas gdy przy pH zbliżonym do 6,5 jest on miękki i smarowny [7, 16, 23, 28, 36]. Zapewnienie właściwego pH sera możliwe jest przez odpowiedni dobór surowców, topników oraz wprowadzenie dodatku regulatorów kwasowości [25].

Marchesseau i wsp. [28] stwierdzili, że duża twardość serów topionych przy pH 5,2 spowodowana jest wysokim stopniem agregacji białek związanych z bliskością punktu izoelektrycznego kazeiny. Uzyskany ser jest słabo zemulgowany, ma wyraźnie ziarnistą strukturę (duże agregaty białkowe) oraz twardą, a jednocześnie kruchą teksturę. Podniesienie pH sera topionego do wartości 5,7 pozwala na zwiększenie ujemnego ładunku białek, które w nowych warunkach zdolne są do oddziaływania między sobą i tworzenia różnego typu wiązań. Mnogość interakcji zachodzących pomiędzy białkami przy tej wartości pH indukuje powstanie homogennej emulsji oraz stabilnego sieciującego zdyspergowane kuleczki tłuszczowe szkieletu białkowego. Według Marchesseau i Cuq [27] zakres pH serów topionych od 5,9 do 6,1 sprzyja różnorodnym oddziaływaniom pomiędzy białkami. Jednak nadmierny wzrost kwasowości czynnej (pH ~ 6,7) osłabia reakcje elektrostatyczne pomiędzy białkami, przyczyniając się do zwiększenia rozpuszczalności kazeiny. Zbyt duża ilość związanej w tych warunkach wody (działanie plastyfikujące i obniżające twardość) powoduje utworzenie słabego żelu i w rezultacie powstanie sera topionego o zbyt miękkiej konsystencji [28]. W badaniach prowadzonych przez Lee i Klostermeyer [23] stwierdzono, że twardość i lepkość modelowych systemów serów topionych malała wraz ze wzrostem pH topionej masy.

Obecność jonów wapnia

Obecność jonów wapnia wpływa negatywnie na rozpuszczalność białka. Im więcej wapnia znajduje się w części hydrofilowej łańcucha białkowego, tym białko to ma mniejszą rozpuszczalność i przez to wykazuje również słabsze właściwości emulgujące

[5, 11, 36]. Słabe powinowactwo białka do wody nie pozwala na utworzenie w czasie topienia homogennej masy. Zwiększenie zdolności emulgujących białek możliwe jest poprzez dodatek odpowiedniej ilości topników usuwających część wapnia z układu białkowego. Wielkość dodatku topnika zależy między innymi od rodzaju surowca używanego do topienia. Biswas i wsp. [2], stosując do topienia sery o podwyższonej zawartości wapnia, uzyskali produkty charakteryzujące się większą twardością i mniejszą podatnością na topienie w stosunku do produktów otrzymanych z surowców o mniejszej zawartości wapnia.

Topniki

Wpływ dodatku topników na teksturę serów topionych uzależniony jest od rodzaju i ilości zastosowanej „soli emulgującej”, a także od składu surowcowego mieszanki przeznaczonej do topienia. Użycie topników jest warunkiem wytworzenia homogennej emulsji ze wszystkich surowców przeznaczonych do topienia. Ogrzewanie masy serowej bez udziału topnika prowadzi do rozdzielenia się fazy wodno-białkowej i tłuszczowej z powodu niewystarczających zdolności emulgujących nierozpuszczonych miceli kazeinowych.

Funkcje topników w technologii serów topionych pełnią głównie sole sodowe kwasu fosforowego (ortofosforany, pirofosforany, polifosforany) lub cytrynowego [8]. Wśród soli najczęściej stosowanych wymienia się cytrynian trójsodowy (TSC), fosforan dwusodowy (DSC), pirofosforan trójsodowy (TSPP) i heksametafosforan sodowy (SHMP), zwany też solą Grahama. Substancje te różnią się między sobą zdolnością kompleksowania wapnia z miceli kazeinowych oraz kierunkiem modyfikowania pH systemów, do których są dodawane. Z tego względu w specyficzny sposób uczestniczą w powstawaniu emulsji, co znajduje odzwierciedlenie w teksturze gotowych produktów. Wybór rodzaju topnika nie może być zatem sprawą przypadkową. Powinien on uwzględniać kierunek i specyfikę działania danej soli w ściśle określonych warunkach. Dobierając topniki należy więc również uwzględnić skład mieszanki topialniczej (w szczególności pH i stopień dojrzałości surowców serowych).

W praktyce, do topienia stosuje się nie pojedyncze sole, lecz gotowe, handlowe preparaty wieloskładnikowe, będące mieszaninami różnych „soli emulgujących”, pozwalających na uzyskanie sera o określonych właściwościach (ser przeznaczony do smarowania lub do krojenia). Wielkość dodatku topnika zależy między innymi od rodzaju surowca używanego do topienia, a stosowana dawka nie przekracza z reguły 3%. Stwierdzono, że zbyt mały dodatek „soli emulgujących”, w stosunku do białka potrzebnego do zemulgowania zdyspergowanego tłuszczu, nie pozwala osiągnąć pożądanej homogenności topionej masy. Gotowy produkt charakteryzuje się wówczas kaszkowatą strukturą i wydzieleniem wolnego tłuszczu [3, 25, 39].

Sery otrzymane z udziałem topników wykazujących dużą zdolność do kompleksowania wapnia z układu białkowego cechują się stabilną strukturą, wysoką twardością i małą podatnością na topienie [36]. Największe zdolności do wiązania wapnia i rozpuszczania parakazeinianu wykazują polifosforany. Rozpuszczalność beztłuszczowej kazeiny podpuszczkowej przy zastosowaniu polifosforanów wynosi aż 85 %, podczas gdy przy użyciu pirofosforanów 45 %, a ortofosforanów 30 %. Stosuje się polifosforany o najkrótszej długości łańcucha (dwufosforany) aż do długości łańcucha soli Grahama (heksametafosforan). Wpływ polifosforanów na zwięzłość sera nasila się wraz ze stopniem kondensacji fosforanu [9].

W produkcji serów topionych o miękkiej i smarowej konsystencji stosowane są topniki, które umiarkowanie wiążą wapń z kompleksu kazeinowego, doprowadzając tym samym do powstania słabej emulsji. Sery o takich właściwościach można uzyskać stosując do topienia cytrynian trójsodowy lub fosforan jednosodowy [9, 36].

Rodzaj stosowanej do topienia „soli emulgującej” w sposób znaczący wpływa również na wartość pH masy serowej. Jedną z funkcji topników jest bowiem stabilizowanie i korygowanie pH sera. Zarówno wśród cytrynianów, jak i ortofosforanów, występują bardzo duże różnice wartości pH ich 1-procentowych roztworów. Cytrynian jednosodowy ma tak niskie pH (pH 1 % roztworu $\text{NaH}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ wynosi 3,75), że jego dodatek powoduje zniszczenie emulsji podczas topienia sera. Zastosowanie dodatku wyłącznie cytrynianu dwusodowego (pH = 5,1) prowadzi z kolei do wydzielania się wody podczas gęstnienia topionej masy serowej [9]. Ortofosforany również znacznie różnią się wartością pH. Fosforan trójsodowy (TSP) wykazuje tendencje do nadmiernego podnoszenia pH, a fosforan jednosodowy (MSP) do zbytniego obniżania pH, dlatego też żadna z tych soli nie może być stosowana jako jedyna „sól emulgująca”. Substancje te znajdują zastosowanie tylko jako topniki korygujące pH sera (MSP w kierunku kwaśnym, a TSP w kierunku alkalicznym) lub też jako dodatki do handlowych mieszanek soli topialniczych [25, 36].

W badaniach prowadzonych nad wpływem dodatku jedno-, dwu- i trójsodowych fosforanów na teksturę serów topionych stwierdzono, że ser wyprodukowany z dodatkiem NaH_2PO_4 był nadmiernie suchy i kruchy, podczas gdy ser z dodatkiem Na_3PO_4 był miękki i elastyczny. Ser uzyskany z Na_2HPO_4 charakteryzował się cechami tekstury pośrednimi między tymi, które stwierdzono w pozostałych wariantach. Roztwory 1 % użytych w tym doświadczeniu soli wykazywały pH odpowiednio 4,2; 9,5 i 13,0 [9, 36]. Stosowane najczęściej do topienia polifosforany zmieniają pH w znacznie mniejszym stopniu (niż przedstawione powyżej sole). Wpływ ten jest tym mniejszy im dłuższy jest łańcuch polifosforanu. Najmniejszy wpływ na pH wykazuje sól Grahama (heksametafosforan) [9]. Jednakże stosowanie w chwili obecnej do topienia mieszanek „soli emulgujących” zabezpiecza w dużym zakresie przed zmianami pH. Dodatkowo do regulacji pH stosowane są inne substancje, niemające wpływu na wiązanie wapnia.

W obszernej literaturze fachowej poruszano temat wpływu dodatku różnych topników na finalne cechy tekstury serów topionych [1, 6, 15, 16, 30, 39, 40, 41]. Ze względu na różnorodność handlowych mieszanek soli topialniczych oraz szeroki asortyment stosowanych obecnie do topienia surowców, konieczne jest sprawdzanie przed topieniem jakich cech można oczekiwać od gotowych produktów [29].

Warunki procesu technologicznego

Wśród czynników technologicznych wpływających na finalne cechy tekstury serów topionych wymienia się: mechaniczną obróbkę masy serowej (czas i szybkość mieszania surowców), obróbkę termiczną (temperatura i czas jej utrzymania) oraz warunki chłodzenia powstałej emulsji (szybkość chłodzenia). Odpowiednie kierowanie procesem technologicznym ma bezpośredni wpływ na rodzaj powstającej emulsji oraz sposób w jaki przechodzi ona w postać żelu.

Obróbka mechaniczna

Czas i intensywność zastosowanej obróbki mechanicznej wpływają na stopień rozbicia i rozproszenia kuleczek tłuszczowych w masie serowej. Powolne mieszanie składników w czasie topienia pozwala na utworzenie słabej emulsji z dużymi kuleczkami tłuszczowymi zawieszonymi w fazie wodno-białkowej. Prowadzi to do otrzymanie sera miękkiego, smarownego, podatnego na topienie i deformację. Słabo zemulgowany i zdyspergowany w masie serowej tłuszcz jest bowiem istotnym elementem strukturotwórczym produktu łatwo poddającego się odkształceniom [10]. Z drugiej strony wytworzenie emulsji o dobrze zemulgowanym i rozproszonym tłuszczu (duża liczba małych kuleczek tłuszczowych) pozwala na otrzymanie sera twardego i przydatnego do krojenia. W tego typu emulsji drobne kuleczki tłuszczowe zamknięte są w silnej sieci wiązań białkowych, co sprawia, że rola strukturotwórcza tłuszczu jest w tej emulsji znikoma. W zależności od rodzaju produktu wielkość rozproszonych kuleczek tłuszczowych może wynosić od 0,1 μm do 20 μm . W przypadku, gdy topiona masa serowa jest zbyt płynna dodatkowe mieszanie może więc okazać się przydatne w celu końcowego „utwardzenia” wyrobu [8, 21, 36].

Przedłużenie czasu mieszania składników w trakcie topienia, podobnie jak zbyt intensywne mieszanie, doprowadza do powstania dużej liczby bardzo małych kuleczek tłuszczowych i w rezultacie nadmiernie twardego wyrobu. Zbyt długie poddawanie emulsji obróbce mechanicznej prowadzi do jej przeemulgowania, czego objawem jest wzrost twardości żelu oraz dająca się zaobserwować ziarnista struktura. Dużemu przeemulgowaniu produktu towarzyszy również wydzielanie wody i wolnego tłuszczu. Heertje [18], w próbkach emulgowanych przez 530 min, zaobserwował wyraźne rozdzielanie się fazy białkowej (tworzącej zbity koagulat) od fazy tłuszczowej. Stosując przedłużony czas topienia (20 - 30 min) również Bowland i Foegeding [3] stwierdzili

w produkcji wady wynikające z jego przeemulgowania – zbyt zwężłą, twardą i kruchą teksturę.

Czynnikiem ograniczającym możliwość modyfikowania tekstury serów topionych przez zastosowanie różnej intensywności obróbki mechanicznej topionej masy serowej jest stosunek białka do tłuszczu w gotowym produkcie. Niewłaściwie dobrany może również prowadzić do wad typowych dla przeemulgowania. Im bardziej topioną masę serową poddaje się obróbce mechanicznej, tym więcej białka potrzeba do zemulgowania rosnącej liczby kuleczek tłuszczowych. Zbyt mała zawartość białek, emulgatorów w stosunku do mającego ulec zemulgowaniu tłuszczu, może być przyczyną powstania nadmiernie twardego produktu z jednocześnie wydzieloną płynną fazą tłuszczową, która została zemulgowana. W celu zapobiegania tego rodzaju wadom tekstury konieczne jest przerwanie procesu kremowania w momencie, gdy ilość emulgatorów jest jeszcze wystarczająca do zemulgowania tłuszczu [3, 5, 36].

Obróbka termiczna

Obróbka termiczna masy serowej ułatwia mieszanie składników i powoduje topienie sera. Zazwyczaj ogrzewanie prowadzone jest w zakresie temperatury 70 - 90 °C przez około 5 do 10 min [21]. Carić i Kaláb [7] podają, że w przypadku produkcji serów blokowych stosowana jest niższa temperatura topienia (80 - 85 °C/4 - 8 min) niż w przypadku produkcji serów o smarownej konsystencji (85 - 98 °C/8 - 15 min). O'Donnell i wsp. [31], badając analogi serów topionych, uzyskali optymalne cechy tekstury produktów ogrzewanych w temp. 85°C przez 5 min. Wydłużenie czasu topienia z 5 do 60 min obniżało topliwość serów, a zwiększenie temperatury topienia z 70 do 90 °C wpływało na wzrost ich twardości, gumowatości i spoistości. Jednakże podniesie temperatury topienia do 95 °C obniżało wartości tych cech tekstury. Wzrost twardości serów topionych wraz ze wzrostem temperatury topienia masy serowej zaobserwowano również w badaniach prowadzonych przez Lee i wsp. [20].

Warunki chłodzenia

W czasie chłodzenia topionej masy serowej następuje krystalizacja tłuszczu oraz tworzenie szkieletu białkowego. Praktyka przemysłowa wskazuje, że wolniejsze chłodzenie prowadzi do powstawania twardszego produktu [7]. Potwierdzają to również liczne badania przeprowadzone przez Zhong i wsp. [43, 44, 45] oraz Piska i Štětina [33]. Piska i Štětina [33] stwierdzili, że szybkie schładzanie wytworzonej emulsji zmniejsza twardość, gumowatość i adhezyjność gotowego wyrobu, jednocześnie powodując wzrost jego smarowności. Jak dotąd jednak, słabo poznane są mechanizmy zachodzące w trakcie tego procesu [7]. Wiadomo, że im szybsze jest chłodzenie emulsji, tym powstające kryształki tłuszczu są mniejsze [24]. Małe kryształki tłuszczu z łatwością zamykane są w szkielecie białkowym, co sugeruje, że szybkie schładzanie

powinno doprowadzać do tworzenia twardszego żelu. W praktyce szybkie chłodzenie stopionej masy prowadzi do uzyskania sera o mniejszej twardości. Zhong i wsp. [44, 45], badając systemy modelowe serów topionych, stwierdzili, że jest to efekt dłuższego przebywania produktu w temperaturze faworyzującej powstawanie wiązań między białkami.

Podsumowanie

Ser topiony jest produktem otrzymywanym w wyniku topienia jednego lub kilku rodzajów sera z dodatkiem topników, wody, barwników, dodatków smakowych i często różnych innych składników mleka. Powstała w czasie topienia emulsja po schłodzeniu zamienia się w stabilny żel. Z dokonanego przeglądu piśmiennictwa wynika że tekstura uzyskanego żelu kształtowana jest przez szereg czynników. Wśród najważniejszych z nich wymienia się skład mieszanki do topienia (w tym zawartość i wzajemne proporcje wody, białka i tłuszczu w gotowym produkcie) oraz warunki procesu technologicznego: obróbkę mechaniczną (czas i szybkość mieszania), obróbkę termiczną (czas i temperaturę topienia) oraz warunki chłodzenia (szybkość chłodzenia). Znajomość kierunku działania tych czynników pozwala na otrzymanie produktów o pożądanym cechach tekstury, charakteryzujących się odpowiednią twardością, przydatnością do smarowania, plasterkowania czy podatnością na topienie. Stwarza to również możliwość otrzymania produktów nowych o specyficznych właściwościach funkcjonalnych i szerokiej możliwości zastosowania.

Literatura

- [1] Awad R.A., Abdel-Hamid L.B., El-Shabrawy S.A., Singh R.K.: Physical and sensory properties of block processed cheese with formulated emulsifying salt mixtures. *Int. J. Food Properties*, 2004, **7** (3), 429 - 448.
- [2] Biswas A.C., Kapoor R, Upreti P, Metzger L, Muthukumarappan K.: Influence of natural cheese characteristics on process cheese functionality: unmelted and melted properties. *J. Animal Sci.*, 2004, **82**, Suppl. 1, 233.
- [3] Bowland E.L., Feogedning E.A.: Factors determining large-strain (fracture) rheological properties of model processed cheese. *J. Dairy Sci.*, 1999, **82** (9), 1851 - 1859.
- [4] Bowland E.L., Feogedning E.A.: Small strain oscillatory shear and microstructural analyses of a model processed cheese. *J. Dairy Sci.*, 2001, **84** (11), 2372 - 2380.
- [5] Burrington K.J. 2000. Understanding process cheeses. *Food Product Design*, http://www.foodproductdesign.com/articles/462/462_0200ap.html.
- [6] Carić M., Gantar M., Kaláb M.: Effects of emulsifying agents on the microstructure and other characteristics of process cheese – a review. *Food Microstructure*, 1985, **4** (2), 297 - 312.
- [7] Carić M., Kaláb M.: Processed cheese products. In: *Cheese: Chemistry, Physic and Microbiology* - ed. P.F. Fox, Elsevier Applied Science, 1987, Vol. 2, pp. 339 - 383.
- [8] Chambre M., Daurelles J.: Processed cheese. In: *Cheesemaking: from science to quality assurance* - eds.: Eck A., Gillis J.C., Lavoisier Publishing Inc., 2000, pp. 641 - 657.

- [9] Cichosz G. (red.): *Technologia serów topionych*. Oficyna Wydawnicza „Hoża”, Warszawa 2000.
- [10] Damodaran S., Paraf A. (eds.): *Food proteins and their applications*. Marcel Dekker Inc., New York 1997.
- [11] Dickinson E., Eliot C.: Aggregated casein gels: interactions, rheology and microstructure. 3rd Int. Symp. on Food Rheology and Structure, 10th February, Zurich 2003.
- [12] Dimitreli G., Thomareis A.S.: Effect of temperature and chemical composition on processed cheese apparent viscosity. *J. Food Eng.*, 2004, **64**, 265 - 271.
- [13] Foegeding E.A.: The viscosity, texture and other rheological properties of dairy products. 4th Int. Symp. on Recombined Milk and Milk Products, Cancun, Mexico 2004, may 9 - 12, p. 28.
- [14] Foegeding E.A., Brown J., Drake M.A., Daubert C.R.: Sensory and mechanical aspects of cheese texture. *Int. Dairy J.*, 2003, **13 (8)**, 585 - 591.
- [15] French S.J., Lee K.M., Decastro M., Harper W.J.: Effects of different protein concentrates and emulsifying salt conditions on the characteristics of a processed cheese product. *Milchwissenschaft*, 2002, **57 (2)**, 79 - 83.
- [16] Gupta S.K., Karahadian C., Lindsay R.C.: Effect of emulsifier salts on textural and flow properties of processed cheese. *J. Dairy Sci.*, 1984, **67 (4)**, 764 - 778.
- [17] Gupta V.K., Reuter H.: Firmness and melting quality of processed cheese foods with added whey protein concentrates. *Lait*, 1993, **73**, 381 - 388.
- [18] Heertje I.: Structure and function of food products: A review. *Food Structure*, 1993, **12 (12)**, 343-364.
- [19] Lazaridis H.N., Rosenau J.R., Mahoney R.R.: Enzymatic control of meltability in a direct acidified cheese product. *J. Food Sci.*, 1981, **46**, 332 - 339.
- [20] Lee B.O., Kilbertus G., Alais C.: Ultrastructural study on processed cheese. Effect of different parameters. *Milchwissenschaft*, 1981, **36 (6)**, 343 - 348.
- [21] Lee S.K., Anema S., Klostermeyer H.: The influence of moisture content on the rheological properties of processed cheese spreads. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2004, **39 (7)**, 763 - 771.
- [22] Lee S.K., Buwalda R.J., Euston S.R., Foegeding E.A., McKenna A.B.: Changes in the rheology and microstructure of processed cheese during cooking. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 2003, **36**, 339 - 345.
- [23] Lee S.K., Klostermeyer, H.: The effect of pH on the rheological properties of reduced-fat model processed cheese spreads. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 2001, **34**, 288 - 292.
- [24] Lopez C., Bourgaux C., Lesieur P., Bernadou S., Keller G., Ollivon M.: Thermal and structural behaviour of milk fat. 3. Influence of cooling rate and droplet size on cream crystallization. *J. Colloid Interface Sci.*, 2002, **254 (1)**, 64 - 78.
- [25] Łukaszczyk K. (red.): *Produkcja serów topionych*. Biblioteczka majstra mleczarskiego. Wyd. Spółdz. 1982.
- [26] Mahoney R.R., Lazaridis H.N., Rosenau J.R.: Protein size and meltability in enzyme-treated direct acidified cheese products. *J. Food Sci.*, 1982, **47**, 670 - 671.
- [27] Marchesseau S., Cuq J.L.: Water-holding capacity and characterization of protein interactions in process cheese. *J. Dairy Res.*, 1995, **62**, 479 - 489.
- [28] Marchesseau S., Gastaldi E., Lagaude A., Cuq J.L.: Influence of pH on protein interactions and microstructure of process cheese. *J. Dairy Sci.*, 1997, **80 (8)**, 1483 - 1489.
- [29] Metzger L.E., Lehtola P., Kapoor R.: Comparison of pilot-scale and RVA process cheese manufacture. *J. Anim. Sci.*, 2003, **81 Suppl. 1**, 158.
- [30] Mizuno R., Lucey J.A.: Interaction of emulsifying salts with milk proteins. *J. Anim. Sci.*, 2004, **82**, Suppl. 1, 288.

- [31] O'Donnell, O.M., O'Riordan E.D., Mounsey J.S., Monahan F.J.: Effects of processing temperature and time on the meltability and rheology of imitation cheese. ITS'S annual meeting, Georgia World Congress Center, Atlanta, Georgia 1998, June 20-24.
- [32] Pereira R.B., Bennet R.J., Hemar Y., Campanella O.H.: Rheological and microstructural characteristics of model processed cheese analogues. *J. Texture Studies*, 2001, **32** (5/6), 349 - 373.
- [33] Piska, I., Štětina J.: Influence of cheese ripening and rate of cooling of the processed cheese mixture on rheological properties of processed cheese. *J. Food Eng.*, 2004, **61**, 551 - 555.
- [34] PN-ISO 5492:1997. Analiza sensoryczna. Terminologia.
- [35] Prentice J.H. (ed.): Dairy rheology: a concise guide. VCH Publisher, Inc, New York 1992, pp. 85-114.
- [36] Shimp L.A.: Process cheese principles. *Food Technology*, 1985, **39** (5), 63 - 70.
- [37] Surmacka-Szcześniak A.: Texture is a sensory property. *Food Quality and Preferences*, 2002, **13**, 215 - 225.
- [38] Surówka K.: Tekstura żywności i metody jej badania. *Przem. Spoż.*, 2002, **10**, 12 - 17.
- [39] Sutherawattananonda M., Fulcher R.G., Martin F.B., Bastian E.D.: Fluorescence image analysis of process cheese manufactured with trisodium citrate and sodium chloride. *J. Dairy Sci.*, 1997, **80** (4), 620 - 627.
- [40] Swenson B.J., Wendorff W.L., Lindsay R.C.: Effect of ingredients on the functionality of fat-free process cheese spreads. *J. Food Sci.*, 2000, **65** (5), 822 - 825.
- [41] Varga L., Orbán S.: Use of long-chain polyphosphates for shelf-life extension of processed cheese spreads. *J. Dairy Sci.*, 2004, **87**, Suppl. 1.
- [42] Wilkinson C., Dijksterhuis G.B., Minekus M.: From food structure to texture. *Trends in Food Science and Technology*, 2000, **11**, 442 - 450.
- [43] Zhong Q., Daubert C.R., Farkas B.E.: Cooling effects on processed cheese functionality. *J. Food Process Eng.*, 2004, **27** (5), 392.
- [44] Zhong Q., Daubert C.R., Velev O.D.: Cooling effects on a model rennet casein gel system: Part I. Rheological characterization. *Langmuir*, 2004, **20**, 7399 - 7405.
- [45] Zhong Q., Daubert C.R., Velev O.D.: Cooling effects on a model rennet casein gel system: Part II. Permeability and microscopy. *Langmuir*, 2004, **20**, 7406 - 7411.

FACTORS MOULDING THE TEXTURE OF PROCESSED CHEESES

S u m m a r y

Texture is the basic quality indicator of processed cheeses that decides upon their functionality – the major advantage of this product. In this paper, factors moulding the texture of processed cheeses were described based on the present scientific research and technological practice. The effect of the composition of mixture to be melted, i.e. content of water, proteins, and fat on the basic texture parameters of processed cheeses was discussed as was the impact of technological process conditions, i.e. mechanical processing (time and speed of mixing), thermal processing (time and temperature of melting), and cooling conditions (cooling speed). Furthermore, it was explained the impact of some factors on the hardness of the processed cheese, i.e. the addition of melting salts, the degree of maturity of the cheese's raw materials, the content of calcium, and the pH value.

Key words: processed cheese, texture, hardness 