



Solenie serów – wpływ na jakość produktu

Monika Małkowska-Kowalczyk*, Maria Czerniewicz, Justyna Żulewska, Maria Baranowska

Katedra Mleczarstwa i Zarządzania Jakością,
Wydział Nauki o Żywności,
Uniwersytet Warmiński – Mazurski w Olsztynie.

*kontakt e-mail: monika.malkowska@uwm.edu.pl

Solenie jest złożonym procesem w produkcji sera, który wiąże się z występowaniem wielu zjawisk fizykochemicznych. Kluczowym elementem dobrze przeprowadzonego solenia jest kontrola migracji wody oraz soli do i z produktu. Osiągnięcie docelowego poziomu soli w serze i pożądanych cech jakościowych jest dużym wyzwaniem dla producentów. Celem solenia sera jest nadanie smaku, wzmocnienie skórki, która zabezpiecza przed deformacją podczas dojrzewania, regulacja zawartości wody, ochrona przed rozwojem niepożądanych drobnoustrojów, a także właściwe ukierunkowanie aktywności mikroflory i procesów enzymatycznych podczas dojrzewania [3,6,17]. Sól (NaCl) jest składnikiem wielu rodzajów sera, zawartość w różnych gatunkach tego produktu waha się od 0,8 do 4% (Tabela 1).

Tabela 1. Zawartość soli w wybranych gatunkach sera, z uwzględnieniem metod solenia [6]

Gatunek sera	Metoda solenia	Zawartość soli w serze [%]	Zawartości soli w fazie wodnej sera [%]
Camembert	solenie w solance (na mokro), rzadziej solenie na sucho	1,5 – 1,8	2,7 – 3,6
Blue	solenie na sucho lub solenie w solance (na mokro), dodatkowe nacieranie solą skórki sera podczas dojrzewania	1,7 – 2,6	3,4 – 6,8
Ementaler	solenie w solance (na mokro), dodatkowe nacieranie solą skórki sera podczas dojrzewania	0,8 – 1,0	2,0 – 2,6
Edam/Gouda	solenie w solance (na mokro)	1,2 – 1,4	2,8 – 3,7
Cheddar	solenie w masie	1,6 – 1,9	4,1 – 5,5
Feta	solenie w solance (na mokro)	2,8 – 4,0	4,8 – 7,7
Parmigiano	solenie w solance (na mokro), dodatkowe nacieranie solą skórki sera podczas dojrzewania	2,0 – 2,5	5,9 - 7,8



Metody solenia

Sól może być dodawana na kilku etapach produkcji sera oraz w różnej formie. Krystaliczny chlorek sodu może być wprowadzany bezpośrednio do ziarna (po odczerpaniu serwatki) lub rozdrobnionej masy serowej, przed jej formowaniem i prasowaniem (np. sery typu Cheddar), a także stosowany w nacieraniu powierzchni uformowanych serów – skórki sera, w tzw. soleniu na sucho (np. sery pleśniowe typu Blue). Roztwór NaCl – solanka – wykorzystywany jest w tzw. soleniu na mokro, które może być realizowane w systemie rzeka lub, powszechniej, systemem kontenerowym, a polega na zanurzeniu uformowanego sera w solance (np. ser Gouda czy Feta). Innym rozwiązaniem technicznym w soleniu na mokro, a które dotyczy serów małogabarytowych o krótkim czasie realizacji tego zabiegu, jest zraszanie ich powierzchni solanką, poprzez jej natrysk z dysz [2, 6, 17, 19]. W soleniu serów można również zastosować kombinację powyższych metod, jak np. w technologii Gruyère, gdzie ser jest solony w solance, a następnie naciera się jego powierzchnię suchą solą. W przypadku kilku rodzajów serów bliskowschodnich (np. ser Domiati) część lub całość soli (8%–15% NaCl) dodaje się do mleka serowarskiego, przed jego zaprawieniem podpuszczką, celem konserwacji surowca, stąd ilość ta zmienia się w zależności od pory roku, a także temperatury przechowywania mleka [6]. Obecność soli oraz sposób jej dodawania mają znaczący wpływ na przebieg procesu dojrzewania sera i na jego końcowe cechy sensoryczne [4, 6, 13]. W zależności od rodzaju i wielkości sera oraz sposobu solenia, proces ten może trwać od kilku minut do kilku dni. W większości zakładów mleczarskich w Polsce solenie odbywa się na mokro, w odpowiednio przygotowanej solance [2, 16, 18].

Solanka – solenie na mokro

Solanka – termin określający roztwór wodny chlorku sodu o kontrolowanym składzie, cechach fizykochemicznych i mikrobiologicznych, w którym zanurzany jest ser po prasowaniu i pozostający w nim do osiągnięcia odpowiedniej zawartości soli [18]. W zakładach mleczarskich stosuje się solanki o długim okresie eksploatacji. Odpowiednio pielęgnowana kilkuletnia, a nawet kilkudziesięcioletnia solanka, wpływa korzystnie na jakość serów, w porównaniu do świeżo przygotowanej, stąd też zakłady produkcyjne starają się nie wymieniać jej przez wiele lat. Użycie nowej solanki (o niższym stopniu mineralizacji i mniejszej pojemności buforowej) może prowadzić do powstania grubszej, łamliwej i kruchej skórki sera [18]. W trakcie użytkowania solanki, stężenia składników w roztworze, głównie NaCl i minerałów (wapń i fosfor), zmieniają się w wyniku ich dyfuzji do i z masy sera, a więc istnieje potrzeba kontroli i korekty tych parametrów do wartości optymalnych. Solanka jest regularnie filtrowana, a do regulowania poziomu mineralizacji i pH stosuje się chlorek wapnia, kwas mlekowy, kwas solny lub specjalnie przygotowaną kwaśną serwatkę, która została odtłuszczona, pozbawiona białka, spasteryzowana [16, 17, 18]. W rezultacie właściwości fizyczne i chemiczne solanek różnią się w zależności od producenta serów.

Na jakość solanki i prawidłowy przebieg procesu solenia sera wpływa szereg czynników, a do najważniejszych należą: stężenie NaCl, koncentracja jonów wapnia oraz jej temperatura i pH. Charakterystykę jakościową solanki należy dobierać w zależności od rodzaju sera, który ma być solony (np. wielkość bloku sera, stosunek powierzchni do objętości bryły sera, zawartość wody w serze i jego pH, czas solenia), a także jego ostatecznych parametrów (np. stężenie soli w fazie wodnej sera, zawartość suchej masy) [2, 5, 18]. Koncentracja NaCl w solance zwykle waha się od 14% do 25% (w/w), przy czym podczas solenia serów twardych powinna wynosić 18-22%, a serów miękkich 14-16% [18]. Wzrost stężenia NaCl w solance z 5 do 25% powoduje szybsze tempo jego dyfuzji do sera. Jednak koncentracja chlorku sodu wyższa niż 25% może wpłynąć na zmniejszenie szybkości migracji soli, z powodu utraty wody i kurczenia się sieci białkowej na powierzchni sera, tworząc warstwę barierową [7].

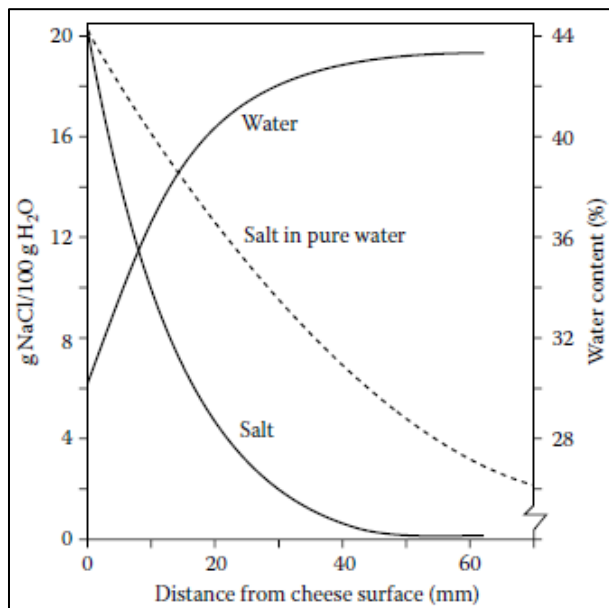
Poziom jonów Ca^{2+} w solance odgrywa istotną rolę w kształtowaniu jakości sera, a ich stężenie w roztworze rekomendowane jest od 0,15 do 0,5% [7]. Zawartość wapnia w solance powinna być zrównoważona z jego koncentracją w matrycy sera. W przypadku braku jonów Ca^{2+} w solance lub gdy ich stężenie jest zbyt niskie, wapń z masy sera przenika do solanki. W rezultacie koloidalny wapń z matrycy kazeinowej jest rozpuszczany, tak aby przywrócić równowagę między rozpuszczalną i koloidalną formą tego makroelementu. Znaczący ubytek wapnia w serze zwiększa hydratację kazeiny, co prowadzi do powstania śluzowatej i lepkiej skórki sera oraz słabej zdolności jej

osuszania, a skutkować to może ryzykiem rozwoju drożdży i pleśni czy też bakterii, np. *Corynebacterium* spp. [10,20]. Kwasowość czynna solanki jest jednym z głównych czynników determinujących szybkość wchłaniania i dyfuzji soli serze oraz wymianę jonów wapniowych w kazeinie na jony Na^+ z soli lub jony H^+ z solanki, co warunkuje cechy reologiczne i teksturę serów. Ogólna reguła stanowi, że wartość pH solanki powinna być taka sama jak kwasowość świeżego sera poddawanego soleniu, stąd też w przypadku serów twardych winna mieścić się w zakresie $\text{pH}=5,2-5,4$, a miękkich $\text{pH}=4,8-5,0$ [18, 20]. Kwasowość czynna solanki, w zależności od producenta, mieści się zazwyczaj w przedziale $5,0-5,3$, aczkolwiek część zakładów preferuje solenie, szczególnie serów typu holenderskiego, w roztworze o znacznie niższej wartości pH, tj. $4,8$ [3, 5, 10]. W zależności od pH solanki, sól (NaCl) ma różny wpływ na właściwości reologiczne żeli kazeinowych, a zatem także serów. Niskie pH sprzyja absorpcji soli, aczkolwiek przy $\text{pH}<5,2$ konsystencja sera staje się twarda i krucha, co wynika ze zbyt intensywnej substytucji wapnia słabiej związanego z kazeiną na jony H^+ dyfundujące z solanki, które nie mogą być zastąpione jonami Na^+ . Natomiast przy wysokich wartościach $\text{pH}>5,6$ solanki, gdy z matrycą kazeinową jest związane więcej wapnia, dochodzi do szerokiego zakresu wymiany jonowej i przyłączenia przez nią dużej liczby Na^+ , co skutkuje bardzo miękką jej teksturą i w trakcie dojrzewania może prowadzić do deformacji kształtu bryły sera. Z kolei w przedziale wartości $5,2-5,6$ pH solanki, stężenie jonów Ca^{2+} oraz H^+ jest optymalne, aby doszło do związania przez kazeinę korzystnej ilości jonów Na^+ , co warunkuje dobrą konsystencję i elastyczną teksturę sera [17, 18]. Zdolność wiązania wody przez kazeinę, w zależności od pH solanki, wpływa na właściwości fizyczne końcowego produktu. Solenie sera w solance zwiększa poziom uwodnienia białka i powoduje pęcznienie matrycy białkowej [7, 15, 20]. Szybkość wchłaniania soli, a jednocześnie utrata wilgoci (serwatki) przez ser, uzależnione są także od warunków termicznych procesu i jeżeli jest on prowadzony w wyższej temperaturze, tym szybsze jest tempo solenia. Temperatura solanki może wahać się od ok. 8 do 20°C , a optymalna powinna mieścić się w granicach $12-14^\circ\text{C}$. Temperatura solanki $<12^\circ\text{C}$ wpływa na zbyt wolną dyfuzję soli do sera, z kolei w temperaturach $>14^\circ\text{C}$ mogą występować zachwiania jakości mikrobiologicznej zarówno solanki, jak i serów [6, 18, 20].

Czas solenia w głównej mierze determinowany jest przez stężenie NaCl w solance, choć wpływają na niego również inne czynniki (Tabela 2).

Tabela 2. Parametry determinujące proces solenia serów [5, 6]

Parametr	Czas solenia	Wpływ na proces solenia
Stężenie NaCl w solance ↗ ↘	↘ ↗	Wyższe stężenie NaCl zapewnia szybsze wchłanianie soli.
Temperatura solanki ↗ ↘	↘ ↗	Szybkość dyfuzji wzrasta wraz z temperaturą.
Wielkość i kształt bryły sera ↗ ↘	↗ ↘	Mniejsze sery wchłaniają sól szybciej; ser kulisty wchłania ją bardziej równomiernie.
Stosunek powierzchni do objętości bryły sera ↗ ↘	↘ ↗	Tempo wchłanianie soli zwiększa się wraz ze wzrostem stosunku powierzchni do objętości sera. (prostokątny > cylindryczny > kulisty)
Zawartość wody w serze ↗ ↘	↘ ↗	Wyższa zawartość wody w serze sprzyja szybszemu przenikaniu NaCl do i w masie sera.
Zawartość tłuszczu w serze ↗ ↘	↗ ↘	Sól migruje w fazie wodnej sera, a wysoka w nim zawartość tłuszczu utrudnia dyfuzję NaCl w głąb jego matrycy białkowej.
pH sera ↗ ↘	↘ ↗	Wyższe pH prowadzi do szybszego wchłaniania soli.
Rodzaj sera twarde miękkie	↗ ↘	Migracja soli zachodzi wolniej w masie sera o niższej zawartości wody.



Rysunek 1. Rozkład soli i wody w serze pełnotłustym po 8 dniach solenia w solance o stężeniu 20,5 g NaCl/100 g H₂O.

Przerywaną linią zaznaczono rozkład soli, gdyby dyfundowała ona bez przeszkód w czystej wodzie [19]

Podczas solenia przy użyciu solanki, wchłanianie soli rozpoczyna się natychmiast po zetknięciu sera z roztworem, w wyniku procesu dyfuzji, napędzanego przez różnicę ciśnień osmotycznych. W tym przypadku siłą napędową migracji składników jest różnica w stężeniu NaCl w solance i fazie wodnej sera [6]. Jony chlorku sodu wnikają do wnętrza sera, podczas gdy z bloku matrycy białkowej, w kierunku przeciwnym, przemieszcza się woda, wraz z rozpuszczonymi w niej związkami, takimi jak: jony Ca²⁺ oraz aniony kwasu mlekowego i fosforowego. Dla zajścia tych migracji związków rozpuszczalnych niezbędnym warunkiem jest ciągłość fazy wodnej, zarówno w środowisku zewnętrznym, jak wewnątrz sera. W końcowym etapie solenia występuje duży gradient NaCl w fazie wodnej sera, co oznacza, że czas potrzebny do osiągnięcia równomiernego rozprowadzenia soli w całej objętości sera jest głównie zależny od jego geometrii oraz zawartości wody – rysunek 1 [6, 17, 19].

Głównymi czynnikami odpowiedzialnymi za utrudnianie dyfuzji NaCl w serze są:

- lepkość fazy wodnej sera – współczynnik dyfuzji (D) jest odwrotnie proporcjonalny do lepkości ośrodka dostępnego do transportu (fazy ciągłej), a lepkość fazy wodnej sera jest wyższa niż wody, co powoduje, że efektywny współczynnik dyfuzji jest aż o 10% mniejszy niż dla czystej wody. Pseudodyfuzyjny współczynnik NaCl w fazie wodnej sera wynosi na ok. 0,2 cm²/dzień, podczas gdy współczynnik dyfuzji NaCl w czystej wodzie wynosi ok. 1 cm²/dzień;
- krętość drogi dyfuzji (pełna załamań droga migracji w matrycy białkowej sera) – cząsteczki/jony dyfundujące w fazie wodnej sera muszą przemieszczać się okrężną drogą, aby ominąć cząsteczki blokujące, więc efektywna odległość pokonywana przez nie będzie dłuższa. Dyfundujące jony/cząsteczki muszą ominąć kuleczki tłuszczowe – dlatego współczynnik D maleje wraz ze wzrostem zawartości tłuszczu. Z kolei w serze beztłuszczowym muszą one ominąć cząsteczki matrycy białkowej – dlatego współczynnik D maleje wraz ze spadkiem zawartości wody w serze beztłuszczowym;
- tarcie – szerokość kapilar/porów w matrycy białkowej w serze wynosi około od 1 do 3 nm, w zależności od zawartości wody. Ponieważ średnica uwodnionych jonów soli wynosi co najmniej 0,5 nm, na dyfundujące jony wywierany jest wyraźny efekt tarcia;
- przeciwprąd – podczas procesu solenia NaCl wnika do sera, a jednocześnie duża część wody (serwatki) wypływa. Strumień wody znacznie przewyższa strumień soli, więc ser się kurczy (w obszarze, w którym wniknęła sól). Przeciwprąd wody zmniejsza szybkość dyfuzji soli [19].

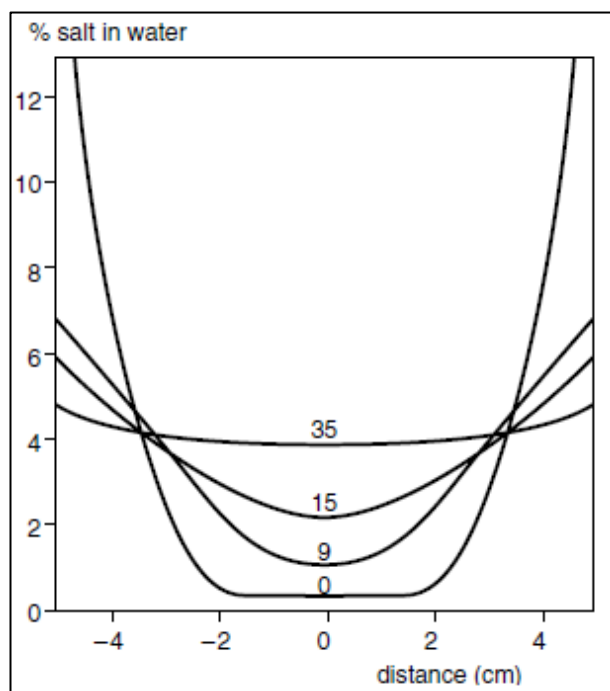
Jakość mikrobiologiczna i klarowność solanki jest utrzymywana przez stosowanie procesów mikrofiltracji lub sanityzacji chemicznej (z wykorzystaniem podchlorynu sodu, pimarycyny, sorbinianu sodu i potasu), rzadziej obróbki cieplnej, ze względu na możliwe zmniejszenie jej buforowości, w wyniku wytrącenia soli wapniowo-fosforowych pod wpływem działania wysokiej temperatury [6, 19]. W ostatnim czasie pojawiły się doniesienia o zastosowaniu nowatorskiej metody do oczyszczania solanki, opartej na technologii UV – raslyzacji.



W procesie tym, roztwór solanki w turbulentnym ruchu przepływa przez źródło światła UV, o określonej długości fali, tak, aby cały płyn został poddany działaniu promieniowania. Jak podają źródła literaturowe [11] rasylizacja pozwala na uzyskanie wyższej jakości sanitarnej solanki, w porównaniu do mikrofiltracji oraz generuje niższe zużycie energii. Przechodząc z konwencjonalnej pasteryzacji termicznej na metodę rasylizacji, zmniejsza się zużycie energii i wody odpowiednio o 60-90% i 60-80%. Pionierem technologii jest duńska firma Lyras – producent maszyn przemysłowych. Nazwa „rasylizacja” powstała z połączenia trzech pierwszych liter imienia wynalazcy technologii – Rasmusa Mortensena oraz duńskiego słowa LYS, oznaczającego światło.

Rozmieszczenie soli w serze a proces dojrzewania

W obrębie każdego sera rozkład soli różni się, w zależności od metody solenia. Sery solone w masie, takie jak Cheddar, mają jednolity poziom soli w całej masie serowej już po kilku godzinach od zakończenia solenia. W przypadku serów solonych w solance, istnieje wyraźna różnica między zawartością soli blisko ich powierzchni (skórki) i wewnątrz masy – rysunek 2 [6, 8, 19]. Szybkie osiągnięcie jednorodności stężenia soli w obrębie serów solonych na sucho zazwyczaj spowalnia lub zatrzymuje fermentację resztkowej laktozy, pozostawiając pulę węglowodanów, która wspiera wzrost bardziej tolerancyjnych na sól szczepów bakterii starterowych i/lub wzrost niestarterowych bakterii fermentacji mlekowej (NSLAB – Non-Starter Lactic Acid Bacteria), co znacząco wpływa na przebieg dojrzewania. Niski poziom soli wewnątrz sera (w przypadku solenia w solance), pozwala na kontynuację fermentacji całej laktozy do kwasu mlekowego, podczas dojrzewania [1, 6, 14].



Rysunek 2. Rozkład soli w fazie wodnej sera w funkcji odległości od płaszczyzny środkowej dla sera typu Gouda (grubość próbki 10 cm, po różnej liczbie dni po soleniu (dni oznaczone w pobliżu krzywych). Przybliżone wyniki ilustrujące trendy [19].

Typowe czasy uzyskania równomiernego rozprowadzenia soli w bryle sera wynoszą [6, 14]:

- Camembert 0,25 kg – 7-10 dni;
- Edam 2,5 kg kula – 4-6 tygodni;
- Gouda 10 kg krąg – 7-9 tygodni;
- Emmental 60-130 kg krąg – ponad 4 miesiące.

Wpływ soli na właściwości sera

Zmiany składu sera podczas solenia stanowią równowagę między przyrostem masy, wynikającym z wnikania soli do sera, a jej utratą, w miarę wycieku wody (serwatki) [16]. Proces solenia ma znaczący wpływ na szeroko rozumianą jakość sera, poprzez kształtowanie jego składu, mikroflory i aktywności enzymów. Istnieje silna korelacja między poziomem soli a jakością sensoryczną sera. Dla każdego gatunku sera istnieje optymalny zakres zawartości soli i poziomu suchej masy, który wyraża się stężeniem soli w fazie wodnej sera. Przy koncentracji NaCl poniżej optymalnego zakresu zwykle uwidaczniają się wady sera spowodowane wzrostem niepożądanych bakterii lub



nieuregulowaną aktywnością enzymów proteolitycznych i lipolitycznych. Z kolei zawartość soli powyżej optymalnego poziomu, może być przyczyną defektów sera z powodu zahamowania pierwotnej fermentacji. Sól wpływa na smak, a jej nadmiar lub niedobór staje się łatwo zauważalny podczas oceny organoleptycznej [6, 16, 20].

Proces solenia wpływa na:

- SKŁAD SERA

Głównymi czynnikami, które decydują o składzie sera są względne proporcje tłuszczu, białek, wody i minerałów w mleku. Ponadto duży wpływ na ilość poszczególnych składników w serze ma charakter i zakres fermentacji oraz synereza skrzepu powstałego w wyniku działania podpuszczki i/lub kwasu. Dodatek soli wpływa na skład sera przede wszystkim poprzez zmiany w zawartości wody, które są wynikiem uwalniania serwatki podczas wchłaniania NaCl. Wraz ze wzrostem stężenia soli, zawartość wody w serze zmniejsza się, co jest wyraźnie widoczne podczas solenia metodą na sucho [6, 14, 16].

- FERMENTACJĘ LAKTOZY

W przypadku większości gatunków sera, laktoza jest w pełni metabolizowana mikrobiologicznie na wczesnych etapach dojrzewania. Jednak poziom soli w serze i sposób jej dozowania odgrywają znaczącą rolę w określaniu zarówno tempa rozkładu laktozy, jak i równowagi między liczbą bakterii starterowych i niestarterowych, które będą rozwijały się w serze, aby mieć później wpływ na jego właściwości sensoryczne [1, 6, 9, 12].

Wzrost bakterii *Lactococcus* sp., najczęściej stosowanych w serowarstwie, jest stymulowany przez 2-3-procentowe (w/w) stężenie NaCl w fazie wodnej sera, ale zostaje zahamowany przy wyższych jego poziomach. Większość bakterii nie wykazuje wzrostu przy koncentracji soli w fazie wodnej sera powyżej 5%. W przypadku serów solonych w solance, gdy sól wnika w nie powoli, przez kilka dni, pozostaje wystarczająco dużo czasu na prawie całkowitą fermentację laktozy, zanim stężenie NaCl osiągnie wartość hamującą. Z kolei podczas solenia serów w masie, takich jak Cheddar, ważne jest, aby fermentacja laktozy przebiegała niemal do końca przed rozpoczęciem tego procesu, w przeciwnym razie dojrzewanie sera może przebiegać w nieprawidłowy sposób [1, 6, 8, 12].

- MIKROFLORĘ SERA

Solenie wpływa zarówno na wzrost i aktywność kultur starterowych jak i mikroflory dodatkowej, np. pleśni. Bakterie fermentacji mlekowej mają różną tolerancję soli, np. *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* jest bardziej wrażliwy na chlorek sodu niż *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*. Wzrost bakterii z rodzaju *Propionibacterium* jest zależny od pH. Wiele z nich toleruje ponad 6-procentowe stężenie soli przy pH 7, ale są one hamowane przez 3-procentową koncentrację NaCl przy pH 5,2. Sól znacząco wpływa na wzrost pleśni *Penicillium roqueforti*, kluczowego mikroorganizmu wykorzystywanego w produkcji sera z przerostem pleśni. Stężenie soli w ilości 3-6% (w fazie wodnej sera) zapobiega kiełkowaniu ich zarodników, co tłumaczy strefę wolną od pleśni na powierzchni serów z przerostem pleśni, solonych w solance [6, 19].

Organizmy patogenne różnią się znacznie pod względem tolerancji na sól, niektóre lepiej rozwijają się przy jej stężeniu <2%, niektóre tolerują 2-6% koncentrację NaCl, a inne są w stanie rozwijać się przy stężeniu soli >6%. Chlorek sodu nie działa jako niezależny czynnik zabezpieczający przed patogenami, lecz stanowi jeden z wielu elementów chroniących ser przed zepsuciem, obok m.in. ograniczania skażenia mikrobiologicznego podczas pozyskiwania i zbioru mleka, skutecznej pasteryzacji czy aktywnego wzrostu kultur starterowych, które obniżają pH [6].

- AKTYWNOŚĆ ENZYMÓW

Solenie ma wpływ na aktywność większości rodzimych enzymów mleka, przy czym te rozpuszczalne w wodzie (hydrofilowe) cechuje malejąca kataliza enzymatyczna wraz z obniżeniem aktywności wody (a_w). Lipazy (hydrofobowe) pozostają aktywne nawet przy niskiej wartości a_w . Ponadto aktywność proteolityczna resztkowego koagulantu jest silnie zależna od stężenia soli. Proces proteolizy w serach jest wyraźnie skorelowany z poziomem soli [6, 8, 12].



Sery o obniżonej zawartości soli

Wraz z tendencją do obniżania spożycia sodu, pojawiło się zapotrzebowanie rynku na sery o zredukowanej zawartości soli. Mimo że ser w diecie człowieka jest źródłem około 5% całkowitego, dziennego spożycia tego pierwiastka, to w regionach o najwyższej jego konsumpcji, istnieje ryzyko przekroczenia zalecanego dziennego spożycia sodu [19]. W produkcji sera o zredukowanym poziomie soli wykorzystuje się dwie metody [19]:

- całkowite lub częściowe zastąpienie NaCl przez KCl i/lub $MgCl_2$ (co prowadzi do zmian smaku, w szczególności tendencji do goryczy oraz posmaku metalicznego),
- dodawanie mniejszej ilości soli podczas produkcji (z towarzyszącym temu zwiększonym ryzykiem rozwoju niepożądanych drobnoustrojów).

Redukcja soli w produkcji serów może znacząco wpłynąć na ich teksturę i smak, ponieważ sól odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu tych cech. W celu utrzymania stabilności mikrobiologicznej serów niskosodowych, producenci wykorzystują dodatki konserwujące lub zmieniają parametry technologiczne, takie jak temperatura i czas dojrzewania. Mimo rosnącej popularności serów niskosodowych, zmiany w smaku, jakie się z nimi wiążą, mogą być trudne do zaakceptowania dla konsumentów.

W Katedrze Mleczarstwa i Zarządzania Jakością Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, w ramach projektu badawczego pn. Sieć Badawcza Uniwersytetów Przyrodniczych dla Rozwoju Polskiego Przemysłu Mleczarskiego (SUP-RIM), prowadzone są zaawansowane prace analityczne, mające na celu precyzyjną optymalizację parametrów solanki, zmierzającą do maksymalizacji efektywności procesu solenia.

Literatura

1. Ardö Y., McSweeney P.L.H., Magboul A.A.A., Upadhyay V.K., Fox P.F. (2017). Biochemistry of Cheese Ripening: Proteolysis. Rozdz. 18. (w:) Cheese Chemistry, Physics and Microbiology. Editors: McSweeney P.L.H., Fox P.F., Cotter P.D., Everett D.W. Academic Press. 445-482.
2. Chojnowski W. (2015). Czynniki wpływające na jakość solanki w produkcji serów. Przegląd Mleczarski, 4, 6-9.
3. Cuffia F., Candiotti M., Bergamini C. (2015). Effect of brine concentration on the ripening of an Argentinean sheep's milk cheese. Small Ruminant Research, 132, 60-66.
4. Düsterhöft E.M., Engels W., Huppertz T. (2017). Gouda and Related Cheeses. Rozdz. 34. (w:) Cheese Chemistry, Physics and Microbiology. Editors: McSweeney P.L.H., Fox P.F., Cotter P.D., Everett D.W. Academic. 865-888.
5. Fucà N., McMahon D. J., Caccamo M., Tuminello L., La Terra S., Manenti M., Licitra G. (2012). Effect of brine composition and brining temperature on cheese physical properties in Ragusano cheese. Journal of Dairy Science, 95(1), 460-470.
6. Fuquay J. W., McSweeney P. L., Fox P. F. (2011). Encyclopedia of dairy sciences. Academic Press, 293-300.
7. Giroux H. J., Lemaire N., Britten M. (2022). Effect of cheese composition and cheese-making conditions on salt and moisture transfer during brining. International Dairy Journal, 129, 105325.
8. Hickey D. K., Guinee T. P., Hou J., Wilkinson M. G. (2013). Effects of variation in cheese composition and maturation on water activity in Cheddar cheese during ripening. International Dairy Journal, 30(1), 53-58.
9. Khattab A.R., Guirguis H.A., Tawfik S.M., Farag M.A. (2019). Cheese ripening: A review on modern technologies towards flavor enhancement, process acceleration and improved quality assessment. Trends in Food Science & Technology, Vol. 88, 343-360.
10. Luo J., Pan T., Guo H. Y., & Ren, F. Z. (2013). Effect of calcium in brine on salt diffusion and water distribution of Mozzarella cheese during brining. Journal of Dairy Science, 96(2), 824-831.



11. Lyras. <https://lyras.com/industries/dairy-pasteurization/> (dostęp 28.07.2025)
12. McSweeney P.L.H. (2017). Biochemistry of Cheese Ripening: Introduction and Overview. Rozdz. 14. (w:) Cheese Chemistry, Physics and Microbiology. Editors: McSweeney P.L.H., Fox P.F., Cotter P.D., Everett D.W. Academic Press, 379-387.
13. McSweeney P.L.H, Ottogalli G., Fox P.F. (2017). Diversity and Classification of Cheese Varieties: An Overview. Rozdz. 31. (w:) Cheese Chemistry, Physics and Microbiology. Editors: McSweeney P.L.H., Fox P.F., Cotter P.D., Everett D.W. Academic Press, 781-808.
14. Melilli C., Carcò D., Barbano D. M., Tumino G., Carpino S., Licitra G. (2005). Composition, microstructure and surface barrier layer development during brine salting. Journal of Dairy Science, 88(7), 2329-2340.
15. Rahimi J., Khosrowshahi A., Moradi M. M., Mohamadi H., Abbasi H., Madadlou A. (2013). Texture and chemistry of Iranian white cheese as influenced by brine treatments. Journal of Food Processing & Technology, 4, 4.
16. Schirmer B. C., Heir E., Lindstedt B. A., Møretrø T., Langsrud S. (2014). Use of used vs. fresh cheese brines and the effect of pH and salt concentration on the survival of *Listeria monocytogenes*. Journal of Dairy Research, 81(1), 113-119.
17. TetraPak. (2013). Dairy Technology and Technology. TetraPak Sp. z o.o. Warsaw, 301-334.
18. Tomalik K., Tarapata J., Łobacz A., Kowalik J., Żulewska J. (2024). Solanka – znaczenie technologiczne i jakościowe. Przegląd Mleczarski, 2, 8-14.
19. Walstra P., Wouters, J. T. M, Geurts, T. J. (2005). Dairy science and technology. Taylor & Francis Group, CRC Press.
20. Wiśniewska K., Reps A., Zgórzyński P. (2015). Wpływ wybranych czynników na proces solenia sera. Przegląd Mleczarski, 3, 28-31.