

Opracowanie technologii peklowania wędzonek ze zmniejszonym dodatkiem azotynu sodu z wykorzystaniem bakterii środowiskowych i polifenoli dla małego przetwórstwa

Badania realizowane w ramach:

Zadanie 4. Opracowanie technologii peklowania wędzonek ze zmniejszonym dodatkiem azotynu sodu z wykorzystaniem bakterii środowiskowych i polifenoli dla małego przetwórstwa Umowa nr DRE.prz.070.1.2025

Stan realizacji: wrzesień 2025

Kierownik Zadania:

dr inż. Piotr Szymański

Zakład Technologii Mięsa i Tłuszczu IBPRS-PIB

Wstęp

Peklowanie to etap decydujący o trwałości, stabilności barwy i tworzeniu aromatu wędlin. Podczas peklowania dodajemy chlorek sodu (NaCl) i substancje peklujące (azotan sodu/potasu, azotyn sodu/potasu). Zasadnicze funkcje azotynów (dodanych lub powstałych z redukcji azotanów) w procesie peklowania mięsa to tworzenie typowej, różowej barwy produktów mięsnych, tworzenie smaku i zapachu charakterystycznego dla mięsa peklowanego, hamowanie rozwoju niektórych niepożądanych drobnoustrojów, w tym bakterii *Clostridium botulinum* oraz spowolnienie procesów utleniania.

W praktyce mięso można otaczać solą peklującą na sucho, na mokro (solanka) bądź metodą kombinowaną. Sole te dyfundują do wnętrza kawałków mięsa. Bardzo ważną rolę podczas peklowania odgrywa temperatura panująca w peklowni. Aby ograniczyć rozwój niepożądanych drobnoustrojów należy utrzymywać temperaturę na poziomie nie przekraczającym 5 °C, co zmniejsza znacznie ryzyko zepsucia mikrobiologicznego. Decydujące znaczenie dla stabilności mikrobiologicznej oraz trwałości surowych wyrobów ma dodatek NaCl. Pełni on rolę środka konserwującego, a jednocześnie nadaje smak gotowemu wyrobowi. Wnikające do mięsa na drodze dyfuzji jony soli unieruchamiają część występującej w nim wody, zmniejszają jej aktywność, co obniża rozwój niepożądanych drobnoustrojów.

Tworzenie charakterystycznej barwy peklowanego mięsa

Istota peklowania polega na powstawaniu nitrozylomioglobiny w reakcji tlenowania tlenkiem azotu natywnego barwnika tkanki mięśniowej – mioglobiny. W reakcji tej tlenek azotu zastępuje cząsteczkę wody przyłączoną do żelaza w części hemowej mioglobiny, tworząc nitrozokompleks, w którym żelazo pozostaje na +2 stopniu utlenienia. Inne reakcje są także możliwe i mogą one zachodzić równolegle, w zależności od warunków środowiskowych. Tworzenie się nitrozylomioglobiny może zachodzić w reakcjach chemicznych, biochemicznych, enzymatycznych i nieenzymatycznych. Tworzenie się nitrozylomioglobiny wskutek reakcji chemicznej polega na redukcji metmioglobiny przez grupy –SH związane z białkami, reakcja enzymatyczna prowadzona jest przez dehydrogenazy, a nieenzymatyczna przez NADH w obecności koenzymów FMN i FAD. Nitrozylomioglobina może tworzyć się także w reakcji tlenku azotu z oksymioglobiną obecną w mięsie przy wysokim ciśnieniu parcjalnemu tlenu. Podczas obróbki termicznej, część białkowa nitrozylomioglobiny (NOMb) ulega denaturacji i powstaje nitrozyloochromogen o różowoczerwonej barwie. Bezpośrednie działanie technologiczne soli peklującej wynika z obecności anionu azotanowego. Azotyn po

reakcji do tlenku azotu działa na barwę mięsa stabilizująco. Tlenek azotu reaguje z barwnikiem mięsa mioglobina tworząc nitrozylomioglobinę, której szczególną cechą jest to, że swoje czerwone zabarwienie zachowuje również po denaturacji białka. Związki chemiczne powstające w wyniku reakcji azotynu bądź produktów jego rozkładu ze składnikami mięsa współuczestniczą w wytwarzaniu typowego aromatu dla peklowanego mięsa. Ponadto azotyn działa jako środek konserwujący, poprzez właściwości bakteriostatyczne, bakteriobójcze jak i przeciwutleniające. Jedną z możliwości tworzenia się tlenku azotu w procesie peklowania jest rozpad azotynu w środowisku kwaśnym. Środowisko kwaśne w przetworach mięsnych można uzyskać np. w wyniku przemian dodanych cukrów do kwasów lub glukono- δ -laktonu do kwasu glukonowego. Reakcje przemiany azotynu do tlenku azotu mogą także zachodzić w obecności grup -SH (system cysteina-cystyna). Przemiana zachodzi też w obecności enzymów tkankowych i bakteryjnych. W powstawaniu tlenku azotu uczestniczy zredukowany cytochrom c oraz NADH. Proces tworzenia tlenku azotu może być także stymulowany zmianą potencjału redoks w wyniku dodania redukujących substancji. Obecnie powszechnie stosowany jest w tym celu askorbinian sodu lub izoaskorbinian sodu. Zastosowanie tych substancji zwiększa efektywność peklowania mięsa i zmniejsza pozostałość azotynu w wyrobie gotowym.

Zmiany w stosowaniu azotynów i azotanów w przetwórstwie mięsa

Niezależnie od korzyści wynikających ze stosowania azotynów i azotanów, wiadomo, że związki te mogą być prekursorami nitrozoamin, z których część jest rakotwórcza. W opinii EFSA (Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności) ilości łącznie pobieranych przez ludzi, celowo dodawanych do żywności azotynów i azotanów oraz ich zanieczyszczeń w żywności może przekraczać wyznaczone dla tych związków dziennej dopuszczalnej dawki (ADI), w przypadku niektórych grup osób, w tym dzieci. W związku z powyższym, Komisja Europejska podjęła decyzję (Rozporządzenie Komisji UE nr 2023/2018) o obniżeniu maksymalnego dozwolonego poziomu azotynu sodu stosowanego w przetwarzaniu mięsa w UE, w pierwszym etapie do 80 mg/kg (wyrażone jako jon NO_2), zachowując 24 miesięczny okres przejściowy dla producentów. Ponadto wprowadzone zostaną maksymalne poziomy pozostałości tych związków w wyrobie gotowym. Nowe wymogi prawne zaczynają obowiązywać od 9 października 2025 roku. W drugim etapie planowane jest dalsze obniżenie ilości stosowanego azotynu sodu.

Konsekwencje zmiany przepisów dla małych przetwórców

Istotne zmniejszenie ilości azotynów w procesie peklowania mięsa może niekorzystnie wpłynąć na jakość i trwałość wędlin wytwarzanych metodami tradycyjnymi przez małych przetwórców i w gospodarstwach rolniczych funkcjonujących w ramach krótkich łańcuchów dostaw. W tego typu działalności w bardzo ograniczonym zakresie stosuje się chemiczne substancje dodatkowe wspomagające proces peklowania mięsa, tak jak ma to miejsce w dużym konwencjonalnym przemyśle mięsnym.

Opracowanie technologii peklowania wędzonek ze zmniejszonym dodatkiem azotynu sodu z wykorzystaniem bakterii środowiskowych i polifenoli dla małego przetwórstwa – badania prowadzone przez IBPRS-PIB na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi

Celem pracy jest opracowanie technologii produkcji wędzonek peklowanych z obniżoną ilością azotynu sodu z zastosowaniem bakterii środowiskowych i polifenoli dla małego przetwórstwa.

Realizowane zadanie jest kontynuacją prac prowadzonych w 2024 roku gdzie prowadzono działania ograniczające ilość dodatku azotynu sodu w produkcji kielbas w małym przetwórstwie. W nowym zadaniu opracowujemy prostą w zastosowaniu przez małych przetwórców technologię produkcji wędzonek surowych, fermentowanych i poddawanych obróbce cieplnej z obniżoną ilością azotynu sodu przy zastosowaniu środowiskowych mikroorganizmów pozyskiwanych z naturalnych źródeł (np. serwatka kwasowa, tradycyjne produkty mięsne) oraz polifenoli z przypraw, ziół lub innych łatwo dostępnych dla rolników roślin. Udział wybranych mikroorganizmów, w tym szczepów bakterii fermentacji mlekowej (LAB) w kształtowaniu pożądanych cech jakościowych produktów mięsnych związany jest z właściwościami biochemicznymi poszczególnych drobnoustrojów lub grup drobnoustrojów, wytwarzaniu specyficznych enzymów i metabolitów, które mają wpływ na przemiany związków azotowych w mięsie podczas peklowania, zwiększają redukcyjność mięsa i dynamikę nitrozylowania barwników hemowych przez co mogą mieć wpływ na lepsze wykorzystanie dodanych do mięsa azotynów i stabilizację barwy produktów wytwarzanych z ograniczonym dodatkiem azotynu sodu. Ponadto substancje będące produktami szlaków metabolicznych bakterii, w tym kwasu mlekowego, octowego, pirogronowego oraz bakteriocyn o przeciwdrobnoustrojowych właściwościach mogą kształtować jakość i trwałość wyrobów mięsnych. Polifenole to związki występujące naturalne w roślinach (nasiona, liście, korzenie),

które mogą mieć zastosowanie w peklowaniu mięsa ze zredukowaną ilością azotanu(III) sodu. Ze względu na swoje właściwości chemiczne, mogą działać jako naturalne substancje przeciwutleniające, ograniczać utlenianie białek i lipidów oraz mieć wpływ na stabilność nitrozomioglobiny, związku powstałego w procesach peklowania mięsa poprzez reakcje tlenu azotu z mioglobina, który jest kluczowy w zachowaniu stabilnej pożądanej różowej barwy produktów mięsnych.

W badaniach, które prowadzimy w warunkach półtechniki (IBPRS-PIB) i przemysłowych (pilotażowe produkcje wyrobów w wybranych zakładach) przygotowujemy technologie wytwarzania wędzonek obrabianych cieplnie i surowo dojrzewających z ograniczonym dodatkiem azotynu sodu. Przygotowane zostały startowe grupy drobnoustrojów środowiskowych pozyskane z ekologicznej żywności oraz ekstrakty bogate w polifenole pozyskane z roślin, które są wykorzystywane w procesie peklowania mięsa ze zredukowaną ilością azotynu sodu. Produkty mięsne wytworzone w ramach pilotażu w zakładach mięsnych są ocenione bezpośrednio po produkcji i po przechowywaniu. Dokonywana jest ocena fizyczna, chemiczna, mikrobiologiczna i sensoryczna w zakresie niezbędnych cech jakościowych związanych z ograniczeniem azotynów. Oceniona jest wartość odżywcza, trwałość i bezpieczeństwo zdrowotne wyrobów mięsnych. Podczas badań okresu trwałości analizujemy profil mikrobiologiczny produktów, poziom zanieczyszczeń mikrobiologicznych, (w tym bakterii patogennych) które ograniczają trwałość przechowalniczą oraz zmiany oksydacyjne. Z oznaczeń fizykochemicznych wykonywane są między innymi następujące analizy: skład chemiczny, kwasowość, tekstura, analiza barwy i jej trwałości podczas przechowywania, profil kwasów tłuszczowych, zawartość resztkowych azotynów i azotanów oraz stabilność oksydacyjna.

Efektom prac będzie opracowanie technologii produkcji wędzonek w małej skali z obniżoną ilością azotynu sodu charakteryzujących się dobrą jakością i trwałością. Ponadto opracowana i udostępniona technologia implementowana do przetwórstwa pomoże producentom w dostosowaniu się do zmieniających się wymagań, przyczyni się do wzrostu konkurencyjności krajowych wyrobów tradycyjnych wytwarzanych w małej skali i dalszego rozwoju krótkich łańcuchów dostaw żywności w Polsce.

Postęp prac badawczych i wyniki częściowe

W dotychczasowym okresie realizacji wykonano prace metodyczne nad opracowaniem technologii peklowania wędzonek ze zredukowaną ilością azotynu sodu z zastosowaniem bakterii środowiskowych oraz polifenoli. W pierwszym etapie wybrano źródła grupy bakterii

środowiskowych kwasu mlekowego (ekologiczna serwatka kwasowa z regionu podkarpacia) i polifenoli (ekstrakty roślinne) do peklowania mięśni. Opracowano technikę przygotowania szczepionek startowych i ekstraktów będących źródłem polifenoli w warunkach półtechnicznych i przemysłowych. Przeprowadzono przygotowania organizacyjno-techniczne w zakładzie mięsnym Jasiołka w Dukli celem przeskalowania zaproponowanych rozwiązań do warunków przemysłowych. Rozpoczęto serię produkcji doświadczalnych produktów mięsnych w oparciu o założone rozwiązania. Wytworzono grubo rozdrobnioną szynkę parzoną - wędzoną i schab wędzony, poddany obróbce cieplnej ze zredukowaną ilością azotanu(III) sodu. Do produkcji szynki zastosowano peklowanie szybkie (48h) z dodatkiem polifenoli z ekstraktu z liści maliny. Natomiast w przypadku schabu wieprzowego zastosowano peklowanie zalewowe, w którym solanka została wzbogacona o grupę bakterii środowiskowych z jednoczesnym dodatkiem polifenoli aby zbadać synergizm czynników. Wytworzone produkty po produkcji i przechowywaniu poddano badaniom fizykochemicznym (min. kwasowość, skład chemiczny, stabilność barwy, tekstura, profil kwasów tłuszczowych, zmiany oksydacyjne, zawartość resztkowych azotanów i azotynów) mikrobiologicznym (bakterie stanowiące mikroflorę produktów – stan liczbowy i jakościowy, patogeny) i sensorycznym. Wyniki badań zostały przeanalizowane, szczególnie pod kontem dynamiki nitrozylowania barwników hemowych mięsa w warunkach ograniczonego dostępu azotynu sodu z dodatkiem polifenoli, kształtowania barwy, zmian oksydacyjnych oraz jakości sensorycznej i mikrobiologicznej uzyskanych produktów. Uzyskane na tym etapie dane posłużyły do optymalizacji procesu i dalszych prac.

Na podstawie dotychczas przeprowadzonych prac wykazano, że wprowadzenie do procesu peklowania mięsa ze zredukowanym dodatkiem azotynu sodu polifenoli uzyskanych z ekstraktów z liści maliny poprawiło barwę wytworzonych wędzonek poddanych obróbce cieplnej. Szynki wieprzowe wędzone z dodatkiem ekstraktów z liści maliny charakteryzowały się trwałą, różową barwą, stabilnością oksydacyjną i pożądaną jakością sensoryczną. Zarówno po produkcji, jak i po przechowywaniu wariant w których zastosowano dodatek polifenoli do peklowania wykazywał istotnie wyższe stężenie nitrozylohemoglobiny (MbNO) w porównaniu do produktów bez tego dodatku. Wskazuje to, że ekstrakt z liści maliny może zwiększać zdolności redukcyjne systemu mięsnego i wspomagać nitrozylację barwników hemowych, co wpływa korzystnie na efektywność peklowania mięsa. Najniższe wartości potencjału redoks po produkcji odnotowano w wariantcie z dodatkiem polifenoli do peklowania mięsa, co można przypisać właściwościom przeciwutleniającym związków obecnych w ekstrakcie z liści maliny. Analiza mikrobiologiczna potwierdziła brak bakterii chorobotwórczych we wszystkich próbkach. Ogólna liczba drobnoustrojów po przechowywaniu pozostała stabilna we wszystkich

wariantach, na poziomie około 10^2 jtk/g. Wyniki te sugerują, że ekstrakt z liści maliny może być skutecznym naturalnym dodatkiem wspomagającym redukcję azotynów w przetwórstwie mięsa a proponowana technologia może być obiecującym rozwiązaniem dla rolników i małych przetwórców pozwalającym uzyskać dobrej jakości produkty mięsne z obniżonym dodatkiem azotynu sodu bez stosowania chemicznych przeciwutleniaczy. Badania są kontynuowane zgodnie z harmonogramem prac.

Literatura

1. Carafa, I.; Clementi, F.; Tuohy, K.; Franciosi, E. Microbial Evolution of Traditional Mountain Cheese and Characterization of Early Fermentation Cocci for Selection of Autochthonous Dairy Starter Strains. *Food Microbiol.* 2016, 53 (Pt B), 94–103
2. Łaszkiewicz, B., Szymański, P., Kołożyn-Krajewska, D. (2021). The effect of selected lactic acid bacterial strains on the technological and microbiological quality of mechanically separated poultry meat cured with a reduced amount of sodium nitrite. *Poultry Science*, 100, 1, 263-272.
3. Łepecka A., Okoń A., Szymański P., Zielińska D., Kajak-Siemaszko K., Jaworska D., Neffe-Skocińska K., Sionek B., Trzaskowska M., Kołożyn-Krajewska D., Dolatowski Z.: The Use of Unique, Environmental Lactic Acid Bacteria Strains in the Traditional Production of Organic Cheeses from Unpasteurized Cow's Milk. *Molecules* 2022, 27, 1097.
4. Montel, M.C., Buchin S., Mallet A., Delbes-Paus C., Vuitton D.A., Desmasures, N., Berthier, F., 2014. Traditional cheeses: rich and diverse microbiota with associated benefits. *Int. J. Food Microbiol.* 177, 136–154
5. Okoń A., Szymański P., Zielińska D., Szydłowska A., Siekierko U., Kołożyn-Krajewska D., Dolatowski Z. J. (2021). The Influence of Acid Whey on the Lipid Composition and Oxidative Stability of Organic Uncured Fermented Bacon after Production and during Chilling Storage. *Antioxidants*, 10(11), 1711.
6. Szymański P., Łaszkiewicz B., Kern Jędrychowska A., Siekierko U. Kołożyn-Krajewska D.: The effect of the use of *Limosilactobacillus fermentum* S8 isolated from organic acid whey on nitrosyl pigment concentration and the colour formation of uncured cooked meat products. *Meat Science* 2023, 01, 196.
7. Szymański P., Łaszkiewicz B., Siekierko U., Kern-Jędrychowska Kołożyn-Krajewska D.: The Use of the Mixed Bacteria *Limosilactobacillus fermentum* and *Staphylococcus carnosus* in the Meat Curing Process with a Reduced Amount of Sodium Nitrite. *Appl. Sci.* 2021, 11, 904. (MNiSW₂₀₂₁ = 100 pkt.,
8. Szymański P., Łaszkiewicz B., Siekierko U., Kołożyn-Krajewska D.: Effects of the Use of *Staphylococcus carnosus* in the Curing Process of Meat with a Reduced Amount of Sodium Nitrite on Colour, Residue Nitrite and Nitrate, Content of Nitrosyl Pigments, and Microbiological and the Sensory Quality of Cooked Meat Product. *Journal of Food Quality*, 2020(7), 1-10.