

Biotechnologia w produktach mleczarskich – innowacje kształtujące przyszłość branży

Tradycyjne produkty mleczne od dawna cenione są za swoje właściwości odżywcze i prozdrowotne. Współcześnie, w dążeniu do zwiększenia efektywności, jakości oraz konkurencyjności, zakłady mleczarskie nieustannie poszukują innowacyjnych technologii, produktów i procesów wytwórczych.

dr inż. Anna Szosland-Fałtyn

Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego
– Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Jakości Żywności w Łodzi

Innowacje w mleczarstwie obejmują m.in. modernizację linii produkcyjnych, rozwój nowych produktów o podwyższonych walorach odżywczych, unikalnym smaku czy też produktów hybrydowych, łączących zrównoważone składniki roślinne z tradycyjnymi recepturami mleczarskimi. Coraz większe znaczenie zyskuje także zastosowanie sztucznej inteligencji, automatyzacji i cyfryzacji w całym łańcuchu produkcyjnym – od upraw roślin na paszę, poprzez przetwórstwo, logistykę i sprzedaż, aż po działania proekologiczne. Te ostatnie obejmują m.in. gospodarkę odpadami i energią w celu ograniczenia śladu węglowego i wodnego.

W artykule omówiono aktualne trendy biotechnologiczne kształtujące przyszłość branży mleczarskiej. Przytoczono przykłady innowacji mleczarskich stanowiących element profilaktyki i wspomagania leczenia chorób cywilizacyjnych, a także sposób na długowieczność, zdrowe starzenie się, poprawę odporności oraz utrzymanie prawidłowego mikrobiomu jelitowego. Wspomniano również o produktach spersonalizowanych, opracowywanych na podstawie danych biometrycznych i dostosowanych do indywidualnych potrzeb żywieniowych współczesnego społeczeństwa.

Mleko i produkty mleczne, będące istotnym składnikiem diety dla ponad sześciu miliardów ludzi na całym świecie (Pluta i in., 2022), odgrywają również ważną rolę w gospodarce Polski, która należy do czołowych producentów mleka i jego przetworów w Europie. Średnie krajowe spożycie tego surowca uwzględniające także mleko przeznaczone na przetwory wynosi ok 276 l/rok/osobę (Karaczun i Walczak, 2023).

Przemysł mleczarski stoi obecnie przed dużymi wyzwaniami, ze względu na rosnące wymagania konsumentów, którzy poszukują alternatyw, aby rozwiązać takie problemy, jak alergie na mleko, nietolerancja laktozy, mniejsze spożycie produktów pochodzenia zwierzęcego i negatywny wpływ na środowisko. W odpowiedzi na to obserwuje się rosnący trend w kierunku spożycia produktów roślinnych. Pojawia się szeroka gama napojów, na bazie soi, migdałów, kokosa, owsa, grochu, ryżu, oferujących unikalne profile odżywcze i właściwości sensoryczne (Mäkinen i in., 2016). Często jednak takie wyroby charakteryzują się niską zawartością białka, nieprzyjemnym posmakiem i obniżoną zdolnością emulgującą ze względu na obecność skro-

bi. Dlatego też wprowadza się analogowe produkty hybrydowe zawierające oprócz białek mleka białka roślinne bądź produkty otrzymywane przez fermentację precyzyjną, wykorzystującą różne mikroorganizmy jako „fabryki komórek” do produkcji wysokiej jakości funkcjonalnych składników żywności, takich jak białka zwierzęce, lipidy, węglowodany, witaminy, aromaty itp., z wysoką wydajnością i czystością (Palatzi i in., 2024). Technika ta jednak na chwilę obecną budzi obawy etyczne ze względu na zależność od manipulacji genetycznej, często w przypadku produktów nierodzimych. Ponadto substytuty wyrobów mlecznych otrzymywane bez użycia zwierząt, produkowane bez udziału krów, mogą wpływać na inne aspekty, takie jak źródła utrzymania rolników, jakość żywności (pod względem konsystencji i naturalności) oraz czynniki środowiskowe (użytkowanie gruntów i klimat) (Kühl i in., 2024).

Biotyki w mleczarstwie, czyli czym są probiotyki, symbiotyki, postbiotyki, gerobiotyki

Ponad wszelką wątpliwość, jednymi z najstarszych organizmów, które zasiedlają Ziemię od co najmniej 3,5 miliarda lat, są bakterie [1]. Postęp w metodach identyfikacji molekularnej, który nastąpił dopiero w późnych latach XX wieku, zrewolucjonizował wiedzę na temat drobnoustrojów żyjących w różnych niszach ekologicznych. Obecnie wiadomo, że jednym z najbardziej zróżnicowanych gatunkowo ekosystemów na Ziemi jest ludzka mikrobiota jelitowa, której zrównoważony stan nazywany eubiozą, jest odpowiedzialny za homeostazę całego organizmu i utrzymanie zdrowia. Liczba mikroorganizmów jelitowych człowieka wynosi ok. 100 bilionów komórek i jest blisko 10-krotnie większa niż liczba komórek naszego organi-

zmu (Krakowiak i Nowak, 2015). Odpowiednie kształtowanie się jej składu już od narodzin stanowi istotny czynnik determinujący prawidłowe funkcjonowanie organizmu (Gałęcka i in., 2018). Innowacyjne produkty mleczarskie zawierające w swoim składzie biotyki stwarzają duże możliwości w utrzymaniu prawidłowej mikrobioty jelitowej, profilaktyce i leczeniu chorób cywilizacyjnych, wspieraniu zdrowego starzenia się, czy poprawie odporności i sposobie na długowieczność.

Probiotyki, zgodnie z ustawą z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia, zaliczane są do środków spożywczych specjalnego przeznaczenia żywieniowego, a konsumenci co roku przyjmują 20



bilionów dawek tychże preparatów. Fakt ten sprawia, że temat ich bezpieczeństwa jest niezwykle istotny i powinien być stale kontrolowany. Probiotykami są żywe mikroorganizmy (bakterie, drożdże, pleśnie), które po podaniu pojedynczo lub w połączeniu, w odpowiedniej ilości min 10^6 jtk/g, przynoszą potwierdzone korzyści zdrowotne dla organizmu człowieka. Powinny być bezpieczne dla ludzi i zwierząt, czyli posiadać status GRAS (z ang. Generally Recognized As Safe). W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania probiotykoterapią. Jej dobroczynny wpływ na regulację wielu procesów w organizmie człowieka jest faktem niezaprzeczalnym. Liczne badania kliniczne, wykazały prozdrowotny efekt probiotyków w przypadku schorzeń układu pokarmowego (np. w syndromie jelita drażliwego, biegunkach, zapaleniu jelit), przy terapii zakażeń bakteryjnych czy w leczeniu takich chorób jak: alergie, otyłość, cukrzyca typu drugiego, insulinooporność. Ponadto, odgrywają istotną rolę w stymulacji układu odpornościowego. Pozytywne działanie probiotyków wynika głównie z ich interakcji z mikrobiomem jelit człowieka (Zawistowska-Rojek i Tyński, 2018). Korzystne efekty ich zastosowania są bezpośrednim następstwem odtworzenia prawidłowej mikrobioty jelitowej, przywrócenia prawidłowej funkcji bariery jelitowej oraz modulującego wpływu na mechanizmy immunologiczne i zapalne. Brak jest, wspólnego dla wszystkich probiotyków, mechanizmu działania, gdyż jest ono swoiste i charakterystyczne dla danego szczepu. (Łoniewski, 2021).

Jednym z nowszych trendów, pojawiających się w branży mleczarskiej od kilku lat, jest koncepcja postbiotyków. Zgodnie z definicją najczęściej przywoływaną w literaturze opracowaną przez Tsilingiri i Rescigno należą tu metabolity probiotyków bądź uwolnione ich cząsteczki, które w sposób bezpośredni lub pośredni korzystnie oddziałują na gospodarza (Tsilingiri i Rescigno, 2013). Nieaktywne produkty metabolizmu probiotycznych bakterii, takie jak kwasy organiczne, peptydy czy polisacharydy są stabilne, bezpieczne i łatwiejsze do zastosowania niż żywe kultury bakterii, dzięki czemu mogą wzbogacać produkty mleczne, poprawiając ich funkcje zdrowotne i trwałość (Karbowski i Zielińska, 2020). Wprowadzenie postbiotyków do produktów mleczarskich, takich jak jogurty czy sery, może wspierać układ odpornościowy konsumentów, a także wpływać na poprawę mikroflory jelitowej, co ma znaczenie w profilaktyce chorób przewodu pokarmowego. Najczęściej wymienianymi przewagami postbiotyków w porównaniu z żywymi bakteriami są:

- brak ryzyka translokacji bakterii ze światła jelita do krwi u osób wrażliwych oraz z obniżoną odpornością,
- brak szans na nabycie i przeniesienie genów oporności na antybiotyki,
- łatwość w produkcji, ekstrakcji, standaryzacji, transporcie i przechowywaniu,
- dostępność w czystej postaci (Karbowski i Zielińska, 2020)

Ciekawym zastosowaniem postbiotyków w diecie człowieka jest *Akkermansia muciniphila* nazywana potocznie strażniczką kilogramów i zdrowych jelit. Jest to Gram-ujemna bakteria należąca do nowej generacji probiotyków. Ze względu na jej wysokie wymagania środowiskowe, znacząco podnoszące koszty produkcji probiotyku wprowadzono ją na rynek w formie postbiotyku. Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) 7 lipca 2021 r. zatwierdził bezpieczeń-

stwo pasteryzowanej formy *A. muciniphila*, w dawce nie przekraczającej $3,4 \times 10^{10}$ komórek na dzień w żywności specjalnego przeznaczenia czy suplementach diety (Cani i in. 2022; Staniak, 2023).

Gerobiotyki, czyli pozytywna rola bakterii fermentacji mlekowej w spowalnianiu starzenia

Gerobiotyk jest stosunkowo nowym pojęciem powstałym w celu zdefiniowania tych specyficznych szczepów probiotycznych, które są w stanie ograniczyć fizjologiczne procesy starzenia. Termin ten obejmuje nie tylko żywe drobnoustroje probiotyczne, ale także ich pochodne takie jak: postbiotyki i paraprobiotyki, które wprowadzane do mlecznych produktów są w stanie: korzystnie osłabić podstawowe mechanizmy pojawiające się w podeszłym wieku, ograniczając fizjologiczne procesy starzenia, a tym samym wydłużając żywotność żywiciela. Badania naukowe sugerują, że bakterie fermentacji mlekowej mogą wykazywać właściwości gerobiotyczne poprzez:

- modulację układu odpornościowego,
- poprawę dysbiozy jelit,
- modulację metabolizmu aminokwasów,
- redukcję stanów zapalnych,
- pozytywny wpływ na oś jelito-mózg, przekładając się na poprawę funkcji kognitywnych i ochronę przed demencją.
- wpływ na metabolizm i funkcjonowanie mitochondriów,
- ochronę przed stresem oksydacyjnym (Mahamud i in. 2025).

Genomika żywieniowa – nowe DNA mleczarstwa

W ciągu ostatnich lat nastąpił znaczny rozwój wysoko-przepustowych technik molekularnych takich jak genomika, transkryptomika, proteomika otwierających nowe możliwości w mleczarstwie. Dzięki tym postępom powstała nowa dyscyplina naukowa nutrigenomika badająca wpływ składników diety na ekspresję genów, wykraczając poza podstawowy efekt odżywczy. Nutrigenomika analizuje związki między dietą a genami, identyfikuje mechanizmy, poprzez które żywność i sposób żywienia w tym bioaktywne składniki żywności tzw. cząsteczki sygnałowe wpływają na stan zdrowia oraz rozwój chorób cywilizacyjnych poprzez zmianę ekspresji lub struktury genów (Bionaz i in., 2015). Znaczne zróżnicowanie odziedziczono-genomu w populacji ludzkiej wpływa na biodostępność i metabolizm składników odżywczych. W kontekście innowacji w mleczarstwie nutrigenomika umożliwia:

- projektowanie produktów mlecznych o spersonalizowanym składzie, dopasowanych do indywidualnych potrzeb genetycznych konsumentów,
- identyfikację mechanizmów, dzięki którym bioaktywne składniki mleka działają jako cząsteczki sygnałowe, wpływając na zdrowie i profilaktykę chorób cywilizacyjnych,
- optymalizację biodostępności składników odżywczych, uwzględniając różnice genetyczne między populacjami, co pozwala na lepsze dopasowanie produktów do potrzeb różnych grup konsumentów.

Wprowadzenie genomiki żywieniowej do mleczarstwa stwarza potencjał do tworzenia nowej generacji produktów mlecznych – zdrowotnych, funkcjonalnych i personalizowanych, odpowiadających współczesnym wymaganiom konsumentów i wyzwaniom zdrowotnym społeczeństwa.

Pojęcie innowacyjnych produktów mlecznych coraz częściej łączone jest z dziedzinami biologii molekularnej i nowoczesnych technologii cyfrowych. Pogłębianie wiedzy w zakresie niedoborów składników odżywczych, a także w płaszczyźnie pożywienie-genom umożliwia precyzyjne sterowanie ekspresją genów i adaptacyjne dopasowywanie formuł do potrzeb konsumentów. Dzięki zaawansowanym analizom biometrycznym oraz integracji danych z noszonych urządzeń (np. sensorów glukozy, zegarków monitorujących dietę), innowacyjne produkty mleczne mogą odpowiadać na zróżnicowane potrzeby różnych grup wiekowych, wspierać funkcje życiowe takie jak sen i regeneracja, a także redukować stres u osób aktywnych fizycznie. Wskazuje się na możliwość dopasowywania receptur do wyników testów DNA lub biomarkerów (np. metabolizmu tłuszczów, aminokwasów, wrażliwości na kofeinę). Koncepcja ta uwzględnia zarówno cechy dziedziczne, jak i nabyte, zależnie od etapu życia, preferencji żywieniowych i stanu zdrowia, a w rezultacie może stać się narzędziem terapeutycznym zgodnym z odwieczną mądrością Hipokratesa.

Źródła:

1. Bionaz M., Osorio J., Loo J.J. (2015). Triennial Lactation Symposium: Nutrigenomics in dairy cows: Nutrients, transcription factors, and techniques. *Journal of Animal Science*, 93(12), 5531-5553.
2. Cani P.D., Depommier C., Derrien M., Everard A., de Vos W.M. (2022). *Akkermansia muciniphila*: paradigm for next-generation beneficial microorganisms. *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*, 19, 625-37.
3. Gałęcka M., Basińska A., Bartnicka A. (2018). Znaczenie mikroflory jelitowej w kształtowaniu zdrowia człowieka- implikacje w praktyce lekarza rodzinnego. *Forum Medycyny Rodzinnej*, 12(2), 50-59.
4. Karaczun Z., Walczak J. (2023). Sytuacja mleczarstwa w Polsce w kontekście aktualnych wyzwań zdrowotnych i środowiskowych, *Związek Polskich Przetwórców Mleka. Raport*, Warszawa, 08, 1-73.
5. Karbowiak M., Zielinska D. (2020). Postbiotyki - właściwości, zastosowanie i wpływ na zdrowie człowieka. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 27, 2(123), 22-37.
6. Krakowiak O., Nowak R. (2015). Mikroflora przewodu pokarmowego człowieka-znaczenie, rozwój, modyfikacje. *Postępy Fitoterapii*, 3, 193-200.
7. Kühl S., Schäfer A., Kircher C., Mehlhose C. (2024). Beyond the cow: Consumer perceptions and information impact on acceptance of precision fermentation-produced cheese in Germany. *Future Foods*, 10, 100411.
8. Łoniewski I. (2021). Probiotyki- jakość to skuteczność. *Forum Medycyny Rodzinnej*, 15(3), 97-102.
9. Mahamud A., Tanvir I.A., Kabir M.E. Samonty I. Chowdhury A. H., Rahman M.A. (2025). Gerobiotics: Exploring the Potential and limitations of repurposing probiotics in addressing aging hallmarks and chronic diseases. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*.
10. Mäkinen O.E., Wanhalin V., Zannini E., Arendt E.K. (2015). Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 339-349.
11. Palatzidi A., Nikoloudaki O., Torreiro M.G., Matteucci C., Ferrentino G., Scampicchio M.M., Di Cagno R., Gobbetti M. (2024). Novel formulations for developing fresh hybrid cheese analogues utilizing fungal-fermented brewery side-stream flours. *Current Research Food Science* 30, 9, 100829.
12. Pluta A.S., Garbowska M., Stasiak-Różańska L., Berthold-Pluta A. (2022). Bioaktywne peptydy z białek mleka. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 207-216.
13. Staniak N. (2023). Pasteryzowana *Akkermansia muciniphila* MucT-nowa era probiotykoterapii. *Układ Trawienny i Probiotykoterapia*. 28-30.
14. Tsilingiri K., Rescigno M. (2013). Postbiotics: what else? *Benefit Microbes*, 1, 4(1), 101-107.
15. Zawistowska-Rojek A., Tyski S. (2018). Are probiotic really safe for humans? *Polish Journal of Microbiology*. 67(3), 251-258.