

Znaczenie i wykorzystanie bakterii rodzaju *Lactococcus* w mleczarstwie

MAŁGORZATA ZIARNO, ANNA GODLEWSKA

Katedra Biotechnologii, Mikrobiologii i Oceny Żywności Wydziału Technologii Żywności SGGW,
ul. Nowoursynowska 159c, 02-787 Warszawa

Ziarno M., Godlewska A.

Significance and application of *Lactococcus* species in dairy industry

Summary

Lactic acid bacteria from genus *Lactococcus* are very significant for the dairy industry and this is mainly due to their fast lactose fermentation process and production of aroma compounds. Other useful characteristics of *Lactococcus* are their resistance to bacteriophages, production of EPS and bacteriocins. Moreover, *Lactococcus* have a very low sensitivity to NaCl, low temperature and low pH. Their activity is stable and they have a high survival rate during production process. The many advantages and few disadvantages of this bacteria means that they are very commonly applied them in the production of fermented milk, sour cream, kefir, butter, curd cheese and rennet cheese. Studies over the last few years have confirmed the numerous health benefits of these bacteria, and this has qualified them as potential probiotics. The beneficial influence on human health includes vitamin synthesis, decrease of allergic reactions to milk proteins and easing lactose intolerance, reducing cholesterol blood level and the ability of the bacteria to adhere to the digestive tract.

Keywords: *Lactococcus*, dairy industry

Rodzaj *Lactococcus* został utworzony w 1985 r., wcześniej większość bakterii tego rodzaju zaliczano do *Streptococcus* i *Lactobacillus* (3, 21). Obecnie w obrębie rodzaju *Lactococcus* wyróżnia się pięć gatunków: *L. garvieae*, *L. lactis* (w tym *L. lactis* subsp. *lactis*, *L. lactis* subsp. *cremoris*, *L. lactis* subsp. *hordniae*), *L. piscium*, *L. plantarum*, *L. raffinolactis*. Bakterie rodzaju *Lactococcus* są Gram-dodatnie. Zależnie od warunków hodowli, mogą występować jako kuliste lub owalne komórki o średnicy 0,5 do 1,5 μm . Nie tworzą przetrwalników i nie są ruchliwe. Optimum wzrostu występuje przy temperaturze 30°C, ale mogą rosnać w temperaturze od 10°C do 45°C (3, 21). Są homofermentatywne, produkują duże ilości kwasu L(+)-mlekowego. Wyjątkiem jest *L. lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis*, który produkuje mieszaninę racemiczną (3). Większość z nich posiada zdolność wzrostu w obecności 4% chlorku sodu. Spośród gatunków wykorzystywanych w mleczarstwie jedynie *L. lactis* subsp. *cremoris* rozwija się w obecności 2% soli kuchennej, a nie 4% NaCl (3, 21).

Obecność w surowcu i środowisku jego pozyskiwania

Lactococcus sp. są mikroflorą dominującą w mleku pochodzącym z doju ręcznego oraz przetrzymywanym w temperaturze pokojowej, bez schłodzenia. Drobnoustroje te, m.in. gatunek *L. lactis*, dostają się do mleka

z otoczenia, m.in. ze ściółki obory, powierzchni wymion krowy oraz dojarki do mleka. Liczba bakterii w mleku surowym zależy od warunków higienicznych udoju oraz od czystości samych zwierząt i stanu obór. W warunkach bardzo wysokiej higieny nie stwierdza się bakterii kwasu mlekowego w 1 cm^3 mleka surowego (24, 26, 27). Badania przeprowadzone w farmach wykazały jednak, że średnia liczba bakterii rodzaju *Lactococcus* w mleku surowym wynosi około 10^2 jtk na cm^3 . Natomiast ich średnia liczba na całej powierzchni wymion jest rzędu 10^3 jtk (7).

Mleko, ze względu na dużą zawartość składników odżywczych, przy odpowiednim stanie fizykochemicznym, temperaturze, kwasowości oraz obecności tlenu jest bardzo dobrym środowiskiem do rozwoju drobnoustrojów, w tym bakterii fermentacji mlekowej, w tym *Lactococcus*. Na ich rozwój korzystnie wpływa wartość pH zbliżona do obojętnej, jednak czynnikiem decydującym o rozwoju jest temperatura. W wyniku rozwoju tych bakterii mogą bardzo szybko zachodzić zmiany cech organoleptycznych i składu mleka. Wkrótce po udoju mleka, bakterie mogą powodować kwaśny jego smak i zapach, jeśli będą miały korzystne warunki do szybkiego rozwoju. Po 12-24 godzinach inkubacji w temperaturze około 25°C ścinają mleko, doprowadzając kwasowość miareczkową do wartości 27-28°SH. Po ukwaszeniu ich rozwój zostaje zahamowany. W mleku naturalnie ukwaszonym ich liczba

może wynosić nawet 1 miliard komórek w 1 cm³ (19). Rozwój bakterii rodzaju *Lactococcus* można zahamować, schładzając surowe mleko do temperatury poniżej 10°C (17, 26, 27). Bakterie te zostają całkowicie zniszczone podczas łagodnej pasteryzacji surowca mleczarskiego, czyli przy zastosowaniu temperatury 72°C przez 15 sekund (26, 27).

Wykorzystanie i występowanie w artykułach mleczarskich

W fermentacji mleczarskiej rola *Lactococcus* sprowadza się głównie do produkcji kwasu mlekowego, jednak wykorzystują one mniej niż 0,5% laktozy z mleka (3, 21). Mogą też fermentować cytryniany, w wyniku czego powstaje diacetyl i CO₂, nadające produktom charakterystyczny aromat (10, 23, 24). Pod względem technologicznym i funkcjonalnym *Lactococcus* posiadają wszystkie cechy wymagane dla kultur starterowych: zdolność do fermentacji laktozy, oporność na niskie pH, niską temperaturę i wysokie stężenia soli kuchennej. Charakteryzują się stabilnością i odpowiednim czasem przeżycia podczas liofilizacji, mrożenia oraz w czasie procesu przechowywania kultur starterowych (2, 6, 29).

W mleczarstwie zastosowanie ma tylko gatunek *L. lactis*, i tylko dwa jego podgatunki: *L. lactis* subsp. *lactis* i *L. lactis* subsp. *cremoris*. Podgatunki te stanowią podstawowy składnik mleczarskich starterów mezofilnych, stosowanych przy produkcji śmietany, maślanek, twarogów, serów oraz mleka fermentowanego (2, 21, 24). Są wykorzystywane jako osobne, pojedyncze kultury starterowe bądź jako jeden ze składników złożonych kultur starterowych. Ta ostatnia ewentualność może zawierać odmiany jednego gatunku albo też może składać się z odmian należących do różnych gatunków (2, 29). Wyróżnia się cztery typy szczepionek starterowych: O, L, D i DL. Typ O są to wyłącznie *L. lactis* subsp. *lactis* i *L. lactis* subsp. *cremoris*. Nie są one zdolne do fermentacji cytrynianów, w czego konsekwencji nie wytwarzają substancji aromatyzujących i CO₂. W skład szczepionki typu L wchodzi wyżej wymienione gatunki oraz szczepy rodzaju *Leuconostoc* (*Leuc. mesenteroides* subsp. *cremoris*, *Leuc. lactis*, *Leuc. mesenteroides* subsp. *dextranicum*, *Leuc. mesenteroides* subsp. *mesenteroides*), mające zdolność do powolnej fermentacji cytrynianów, z wytworzeniem niewielkich ilości substancji aromatyzujących. Startery typu D zawierają *L. lactis* subsp. *lactis*, *L. lactis* subsp. *cremoris* oraz *L. lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis*. Powodują one szybką fermentację mleka, z wytworzeniem intensywnego aromatu i gazu. W skład starterów DL wchodzi *L. lactis* subsp. *lactis*, *L. lactis* subsp. *cremoris*, *L. lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis* oraz *Leuconostoc* sp. (*Leuc. mesenteroides* subsp. *cremoris*, *Leuc. lactis*, *Leuc. mesenteroides* subsp. *dextranicum*, *Leuc. mesenteroides* subsp. *mesenteroides*). Wytwarzają one duże ilości substancji aromatyzujących oraz gazu, z tego względu są najczęściej stosowa-

naną szczepionką w produkcji większości fermentowanych produktów mleczarskich (2, 24, 29).

Jednym z produktów, przy którego wytwarzaniu wykorzystuje się bakterie rodzaju *Lactococcus* jest zsiadłe mleko, otrzymywane przemysłowo lub metodą tradycyjną. W pierwszym przypadku fermentacja zachodzi pod wpływem startera typu O, dodanego do pasteryzowanego i ochłodzonego mleka. W przypadku wyrobu w warunkach domowych ukwaszenie zachodzi pod wpływem naturalnej mikroflory obecnej w mleku surowym, ponieważ gatunek *L. lactis* subsp. *lactis* w niej dominuje (17).

Innym przykładem wykorzystania bakterii rodzaju *Lactococcus* jest produkcja kefiru. Kultury stosowane do zaszczipiania mleka na kefir zawierają *L. lactis* subsp. *lactis*, *Leuc. mesenteroides*, *Lb. casei*, *Lb. brevis*, *Lb. kefir*, *Lb. acidophilus* oraz drożdże fermentujące i nie fermentujące laktozę (23). W gotowym kefirze, w dużej przewadze nad innymi drobnoustrojami występują paciorkowce, w tym *Lactococcus*. Nie znaleziono w piśmiennictwie dokładnych informacji o ich liczebności, ale wiadomo, że w kulturze starterowej stanowią one około 80% mikroflory (17, 24).

Bakterie *Lactococcus* sp. są wykorzystywane także w produkcji śmietany. Podstawową szczepionką w tym przypadku jest szczepionka typu DL (17, 24). Badania dotyczące otrzymywania śmietany fermentowanej przez dodanie różnych szczepionek wykazały, iż bezpośrednio po produkcji zawartość paciorkowców mlekowych, w tym *Lactococcus*, wynosi około 10⁸ jtk/g. W trakcie chłodniczego przechowywania ich liczba zmniejsza się zaledwie o około jeden cykl logarytmiczny (badania własne niepublikowane). Bakterie rodzaju *Lactococcus* są także stosowane w produkcji masła ze śmietany, zaś wykorzystywany jest starter typu D. W gotowym maśle *Lactococcus* obecne są głównie w kropelkach fazy wodnej i ich liczba waha się od kilku do kilkunastu milionów w 1 g (17, 24).

Lactococcus sp. znalazły także zastosowanie w produkcji serów. W przypadku serów twarogowych najczęściej stosowana jest kultura starterowa typu DL. Rzadziej i w zasadzie wyłącznie w przypadku sera typu cottage cheese stosuje się starter typu O. Bakterie z rodzaju *Lactococcus* są przeważającą mikroflorą w serach twarogowych. Po zaszczipieniu mleka zakwasem liczba paciorkowców może sięgać nawet kilkudziesięciu milionów jtk w 1 cm³. Wartość ta wzrasta, osiągając optimum w trakcie obróbki skrzepu wynoszące 10⁹ jtk/g. Dopiero w trakcie schładzania twarogu następuje niewielki spadek liczebności tych bakterii (17).

Bakterie z rodzaju *Lactococcus* znajdują największe zastosowanie w produkcji serów podpuszczkowych dojrzewających (2, 11, 24). Są podstawą kultur starterowych typu DL dodawanych do mleka przeznaczonego do wyrobu wszystkich serów dojrzewających, z wyjątkiem serów szwajcarskich i włoskich (23, 24). W zależności od rodzaju sera, starter wzbogaca się

w inne drobnoustroje. W produkcji sera edamskiego, gouda, grojera i ementalskiego stosuje się dodatek *Streptococcus thermophilus*, *Lb. helveticus*, *Lb. bulgaricus*, *Lb. lactis* oraz *Propionibacterium* sp., w przypadku sera roquefort – *Penicillium roqueforti*, w produkcji camembert i brie – *Penicillium candidum*, w przypadku serów: tyłżyckiego, limburskiego i romadura – *Brevibacterium linens*. Tylko przy produkcji serów cheddar i cheshire rezygnuje się ze startera typu DL na rzecz startera typu O. *Lactococcus* mają duży udział procentowy w mikroflorze serów podpuszczkowych. Po zaszczerpieniu mleka kulturami starterowymi, liczba tych bakterii wynosi kilka milionów w 1 cm³. W wyniku intensywnego rozwoju, jeszcze przed dodaniem podpuszczki ich liczba wzrasta do dziesiątków milionów w 1 cm³. Około 90% bakterii zostaje zatrzymanych w skrzepie po odczerpaniu serwatki. Podczas prasowania lub ociekania skrzepu ich liczebność wynosi kilka miliardów w 1 g. Następnie, na skutek obniżenia zawartości laktozy, temperatury oraz pH następuje spadek tempa wzrostu bakterii. W serach twardych, dłużej dojrzewających obecnych jest do kilkunastu milionów paciorkowców w 1 g. W serach typu ementalskiego mezofilne paciorkowce mlekowe odpowiadają za wstępne ukwaszenie mleka, po czym następuje rozwój bakterii należących do innych rodzajów. W serach brie i camembert na początku procesu następuje silny wzrost bakterii wprowadzonych z zakwasem do 10⁹ jtk/g i po obniżeniu pH ich liczebność zmniejsza się do kilkuset milionów w 1 g produktu (16, 17).

Korzyści z obecności *Lactococcus* w artykułach mleczarskich

Opisane wykorzystanie *Lactococcus* wynika z wielu zalet, jakimi się one charakteryzują. Szybkie prowadzenie procesu fermentacji, właściwe zdolności proteolityczne i lipolityczne, tworzenie związków aromatyzujących, produkcja bakteriocyn i egzopolisacharydów, oporność niektórych szczepów na bakteriofagi oraz właściwości prozdrowotne, to tylko niektóre spośród licznych zalet potwierdzających słusność tak bardzo popularnego wykorzystywania w mleczarstwie tych bakterii (21, 24). Głównym celem bakterii rodzaju *Lactococcus* jest produkcja kwasu mlekowego. W czasie bytowania w mleku, podstawowym substratem dla *Lactococcus* sp. jest laktoza. Zdolność *Lactococcus* sp. do fermentowania laktozy do kwasu mlekowego skutkuje obniżeniem pH środowiska do poziomu gwarantującego hamowanie rozwoju mikroflory niepożądaną w produktach (17, 21, 24). Podczas produkcji serów podpuszczkowych kwas mlekowy umożliwia powstanie skrzepu mleka pod wpływem podpuszczki i wpływa na elastyczność masy serowej, jako efekt odłączenia jonów wapniowych od parakazeinianu wapnia.

Lactococcus uważane są za stabilnych producentów substancji aromatycznych: diacetylu, acetoiny, aldehy-

du octowego. Diacetyl to lotny związek nadający przyjemny, lekko orzechowy smak (17, 25). U *L. lactis* subsp. *lactis* i *L. lactis* subsp. *cremoris*, które nie wykorzystują cytrynianów, stwierdza się mniejsze ilości tego związku niż jest wymagane dla prawidłowego aromatu produktów mleczarskich (2-3 mg/dm³). Natomiast *L. lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis* wytwarza diacetyl na poziomie do 10 mg/dm³. Optymalna temperatura dla wytwarzania diacetylu to 21-22°C. Po około 2 godzinach diacetyl ulega nieodwracalnej enzymatycznej redukcji do acetoiny, która przechodzi dalsze przemiany. Redukcja zawartości diacetylu powoduje utratę aromatu charakterystycznego dla produktów fermentowanych. Trwałości diacetylu w fermentowanych produktach mleczarskich sprzyja schłodzenie do temperatury poniżej 5°C lub dostęp tlenu. *L. lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis* wytwarza do 500 mg acetoiny/dm³ i maksymalne stężenie tego związku obserwuje się po 16-20 godzinach inkubacji. Z kolei aldehyd octowy to związek nadający ostry zapach, jeśli występuje w dużych stężeniach. Po około 20-24 godzinach inkubacji w temperaturze 21°C, *L. lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis* wytwarza około 6-11 mg/dm³ aldehydu octowego, natomiast *L. lactis* subsp. *cremoris* po 10-14 godzinach wytwarza 6-8 mg/dm³ aldehydu octowego, zaś *L. lactis* subsp. *lactis* do 5 mg/dm³. Po dłuższym niż podano czasie aldehyd octowy jest redukowany do etanolu (17, 21, 24, 25). Mniejsze znaczenie dla smaku i zapachu fermentowanych produktów mleczarskich mają: kwas octowy, etanol i CO₂ (17, 24). Dinitlenek węgla odpowiada w serach za tworzenie oczek, zaś niektórym mlecznym napojom fermentowanym (np. kefirowi) nadaje cechy musujące (10, 25). Powstawanie oczek jest korzystne nawet w produkcji serów z przerostem pleśni, gdyż szczeliny powstające między ziarnami masy sera ułatwiają działalność kulturze *Penicillium roqueforti* (2, 8, 11, 23). Produktem aktywności bakterii rodzaju *Lactococcus* jest również kwas octowy, którego zawartość wynosi nawet kilkanaście mg/dm³ (21, 25).

Właściwości proteolityczne są kolejną cechą *Lactococcus* świadomie wykorzystywaną w mleczarstwie. Zdolność bakterii rodzaju *Lactococcus* do przeprowadzenia proteolizy jest mała w porównaniu z typowymi bakteriami proteolitycznymi, lecz duża w stosunku do innych bakterii fermentacji mlekowej stosowanych przemysłowo. Warto zaznaczyć, że bakterie rodzaju *Lactococcus* nie wytwarzają zewnątrzkomórkowych enzymów proteolitycznych. W ich przypadku wykorzystanie białek mleka (głównie kazeiny) odbywa się za pośrednictwem proteinaz umiejscowionych w zewnętrznych warstwach ściany komórkowej. Dalsze procesy rozkładu białek do peptydów odbywają się pod wpływem innych proteinaz zlokalizowanych w błonie cytoplazmatycznej i cytoplazmie (20, 21, 24, 29). Zdolność *Lactococcus* do proteolizy decyduje o głębokości dojrzewania i wpływa na cechy organoleptyczne serów. *Lactococcus* sp. nie tracą swoich zdolności wy-

tworzenia charakterystycznego i pożądanego w serach smaku nawet po zniszczeniu ich komórek. Liza komórek wprowadzonych wraz ze starterem powoduje znaczny wzrost szybkości dojrzewania sera (22).

Lactococcus posiadają bardzo niewielką aktywność lipolityczną, jednak w tworzeniu substancji aromatycznych i smakowych lipoliza tłuszczu odgrywa znacznie mniejszą rolę niż proteoliza białek. Proces rozkładu tłuszczu mlecznego przez te bakterie jest dość powolny. Enzymy lipolityczne, podobnie jak proteolityczne, także znajdują się wewnątrz komórek bakteryjnych, a nie na ich powierzchni. Dopiero autoliza komórek i uwolnienie odpowiednich enzymów z komórki bakteryjnej do środowiska, przyczynia się i przyspiesza dojrzewanie serów oraz warunkuje wytworzenie pożądanego cech sensorycznych (17, 20, 22). Warto podkreślić, że zbyt daleko posunięty rozkład tłuszczu w serach twardych nie jest pożądanym, wyjątkiem są sery pleśniowe (17, 20, 23).

Zaletą bakterii rodzaju *Lactococcus* jest oporność na stężenia NaCl stosowane w procesie produkcji serów podpuszczkowych. Wśród podgatunków rodzaju *Lactococcus* oporność na chlorek sodu jest bardzo różna. Wiadomo, że dodatek soli może z łatwością zahamować proces metabolizowania laktozy, stąd ważne jest stosowanie szczepów o dużej odporności na NaCl. W obecności 4% NaCl nie obserwuje się wzrostu *L. lactis* subsp. *cremoris*, natomiast *L. lactis* subsp. *lactis* i *L. lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis* są jeszcze zdolne do wzrostu (17, 21).

Lactococcus sp. charakteryzują się wrażliwością na niskie pH wystarczającą do wykorzystania ich w procesach produkcyjnych (znoszą zakwaszenie środowiska do 4,0-4,2) oraz dobrą przeżywalnością w kwaśnym środowisku (17, 23). W aspekcie wykorzystania technologicznego za zaletę można uznać małą ich wrażliwość na względnie niską temperaturę, co jest istotne w procesach dojrzewania serów podpuszczkowych. Obniżona temperatura i powodowana tym zmniejszona produkcja kwasu mlekowego sprzyjają powstaniu serów o bardzo zwartej, twardej konsystencji, takich jak cheddar. Prowadzenie dojrzewania serów w temperaturze około 30°C, czyli optymalnej dla *Lactococcus*, sprzyja szybszemu wytworzeniu kwasu mlekowego i otrzymaniu serów mniej zwartych i miękkich, takich jak sery typu camembert i brie (17, 21, 23).

Kolejną, istotną cechą bakterii rodzaju *Lactococcus*, jest ich oporność na zakażenia bakteriofagami. Wiadomo, że w efekcie infekcji fagowej następuje liza i śmierć zaatakowanych komórek bakteryjnych, zaś proces technologiczny zakłócony lub uniemożliwiony (1, 9, 24). *Lactococcus* sp. posiadają naturalne mechanizmy obrony przed infekcjami niektórych fagów. Badania wykazały, iż u bakterii fermentacji mlekowej istnieją cztery mechanizmy oporności na fagi. Należą do nich: inhibicja adsorpcji bakteriofagów do komórek bakteryjnych, blokowanie penetracji DNA faga, infekcja abortywna, system R/M (restrykcja-modyfikacja).

W produkcji żywności stosuje się szczepy bakterii dobierane pod względem oporności na fagi wirulenty, a także pod względem obecności w ich komórkach fagów wbudowanych w genom bakteryjny, czyli lizogennych (1, 9).

Zaletą niektórych szczepów *Lactococcus* jest wytwarzanie egzopolisacharydów (EPS), mających korzystny wpływ na kształtowanie teksturalnych oraz organoleptycznych cech produktów (1, 21, 24). Zdolność do ich wytwarzania zaobserwowano u szczepów *L. lactis* subsp. *lactis* i *L. lactis* subsp. *cremoris*. Wiadomo, że ta właściwość jest kodowana na plazmidach. Doświadczenia potwierdziły, iż egzopolisacharydy nie stanowią źródła energii dla komórek bakteryjnych ani nie zwiększają przeżywalności komórek poddanych działaniu wysokiej temperatury, zamrażaniu, liofilizacji czy antybiotyków (15).

Bardzo ważną cechą bakterii rodzaju *Lactococcus* jest produkcja bakteriocyn (24). Najbardziej znaną bakteriocyną jest nizyna, której genetyczny aspekt biosyntezy oraz duża odporność zostały szeroko przestudiowane (21, 24). Wiadomo, że stosowanie szczepów wytwarzających nizynę znacznie ułatwia proces technologiczny wytwarzania fermentowanych produktów mleczarskich. A ponieważ nizyna łatwo ulega rozpadowi w układzie pokarmowym człowieka, uważa się ją za bezpieczną w stosowaniu w produktach spożywczych (17, 24).

Za zaletę można także uznać właściwości prozdrowotne *Lactococcus*, pozwalające kwalifikować niektóre ich szczepy do potencjalnych probiotyków. Wykazano, iż wymienione bakterie mają m.in. zdolność do produkcji witamin z grupy B, łagodzą nietolerancję laktozy i obniżają niektóre reakcje alergiczne na białka mleka (5, 18). Poza tym są odporne na warunki panujące w układzie pokarmowym człowieka (niskie pH oraz żółć), na podstawie czego można sądzić, iż są zdolne do regulacji składu mikroflory tego układu (13, 18). Wspomagają także działanie ułatwiające przyswajanie składników odżywczych (lipidów, aminokwasów, pierwiastków takich jak: fosfor, żelazo i wapń) oraz redukują poziom cholesterolu we krwi (5, 12, 13, 17, 18, 28).

Negatywne znaczenie obecności *Lactococcus* w artykułach mleczarskich

Dostępna literatura niewiele podaje szczegółów na temat negatywnych stron zastosowania w przemyśle mleczarskim bakterii z rodzaju *Lactococcus*. Jednakże niewielkie wady w aspekcie praktycznego ich stosowania są widoczne. Większość z nich można wyeliminować poprzez prawidłowe przeprowadzenie procesu pasteryzacji, monitorowanie fermentacji czy też dodatek do środowiska składników pokarmowych (4, 14, 17). Jedną z wad stosowania bakterii rodzaju *Lactococcus* jest możliwość przekwaszenia. Bakterie te są zdolne obniżyć pH środowiska do wartości około 4,5-4,6 lub niższej. Jednak w produkcji mleczarskiej nie jest wymagane aż tak duże zakwaszenie i dla pra-

widłowych cech organoleptycznych, struktury produktu oraz wystarczającego utrwalenia wystarcza łagodniejsze zakwaszenie. Dlatego jest istotne, by proces fermentacji przebiegał pod stałą kontrolą i opierał się na kulturach starterowych o umiarkowanych zdolnościach kwaszących (24). Drugi powód konieczności kontrowania tempa ukwaszania i fermentacji produktów przez *Lactococcus* to synteza znacznych ilości aldehydu octowego, nadającego produktom ostry zapach (17, 21).

Kolejnym utrudnieniem może być obecność bakterii rodzaju *Lactococcus* w produktach, w których nie stanowią mikroflory pożądanej. W mleku pasteryzowanym lub produktach z niego ich obecność jest spowodowana reinfekcją bądź niewłaściwie przeprowadzoną pasteryzacją (24). Przypadkowa obecność *Lactococcus* sp. może utrudniać przeprowadzenie procesu fermentacji innym bakteriom kwasu mlekowego. Rezultatem może być silny rozwój szczepów *Lactococcus* i brak oczekiwanych cech produktu. Może to zakłócać m.in. proces dojrzewania serów, do których produkcji użyto niewłaściwie skomponowanej kultury starterowej (4, 17, 24).

Poważniejszym problemem wydaje się brak stabilności cech biochemicznych *Lactococcus*. Bakterie mogą tracić plazmidy pod wpływem niekorzystnych warunków środowiskowych (czynników stresowych), m.in. zbyt wysokiej temperatury. Badania wskazują, że wysoka temperatura powoduje często utratę plazmidów, podczas gdy niska sprzyja ich stabilizacji. Wiadomo, że u *Lactococcus* wiele z użytecznych cech jest kodowanych na plazmidach. Przykładowo, utrata plazmidu niosącego geny odpowiedzialne za metabolizm laktozy prowadzi do poważnych problemów technologicznych. Dlatego stabilność plazmidów jest jednym z kryteriów doboru *Lactococcus* do przemysłowego zastosowania (14, 24).

Podsumowanie

Rozpowszechnienie rodzaju *Lactococcus* w procesach fermentacji produktów mleczarskich mogłoby świadczyć o pełnej wiedzy o tych bakteriach. Prowadzą one szybką homofermentację, posiadają wystarczające właściwości proteolityczne i lipolityczne, niektóre szczepy są odporne na występujące czynniki środowiskowe. Coraz częściej mówi się o stosowaniu tych bakterii jako składników ochronnych kultur starterowych, z czego wynika, że możliwości ich nie są jednak do końca wykorzystane. Warto przypomnieć, że do efektywnego wykorzystania *Lactococcus* w przemyśle niezbędna jest wiedza z zakresu genetyki, a szczególnie stabilności plazmidów kodujących podstawowe cechy użyteczne człowiekowi do fermentacji żywności. Być może, już niedługo postęp badań nad *Lactococcus* sp. pozwoli na wykorzystanie ich nie tylko jako typowej mikroflory kwaszącej, ale również jako mikroflory o innych udokumentowanych właściwościach, korzystnych dla człowieka.

Piśmiennictwo

1. *Akelik M., Sanlibaba P.*: Characterisation of an exopolysaccharide preventing phage adsorption in *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* MA39. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 2001, 26, 1151-1156.
2. *Ayad E., Verheul A., Wouters J., Smit G.*: Population dynamics of lactococci from industrial, artisanal and non-dairy origins in defined strain starters for Gouda-type cheese. *Int. Dairy J.* 2001, 11, 51-61.
3. *Batt C.*: *Lactococcus*, [w:] *Robinson R., Batt C., Patel P.*: Encyclopedia of Food Microbiology. Academic Press, San Diego 1999.
4. *Bellengier P., Richard J., Foucaud C.*: Associative growth of *Lactococcus lactis* and *Leuconostoc mesenteroides* strains in milk. *J. Dairy Sci.* 1997, 80, 1520-1527.
5. *Burgess C., O'Connell-Motherway M., Sybesma W., Hugenoltz J., Sindere D.*: Riboflavin production in *Lactococcus lactis*: potential for in situ production of vitamin-enriched foods. *Appl. Environ. Microbiol.* 2004, 10, 5769-5777.
6. *Defecińska A., Libudzisz Z.*: Bakterie fermentacji mlekowej – wpływ na funkcje życiowe człowieka. *Przegl. Mlecz.* 2000, 8, 247-251.
7. *Desmasures N., Opportune W., Guéguen M.*: *Lactococcus* spp., yeasts and *Pseudomonas* spp. on teats and udders of milking cows as potential sources of milk contamination. *Int. Dairy J.* 1997, 7, 643-646.
8. *Gao S., Oh D., Broadbent J., Johnson M., Weimer B., Steele J.*: Aromatic amino acid catabolism by lactococci. *Lait* 1997, 77, 371-381.
9. *Hejnowicz M., Bardowski J.*: Infekcje bakteriofagami mezofilnych szczepów bakterii z rodzaju *Lactococcus* w mleczarstwie. *Przegl. Mlecz.* 2005, 7, 4-7.
10. *Holzappel W., Geisen R., Schillinger U.*: Biological preservation of foods with reference to protective cultures, bacteriocins and food-grade enzymes. *Int. J. Food Microbiol.* 1995, 24, 343-362.
11. *Kieronczyk A., Skeie S., Langsrud T., Von M.*: Cooperation between *Lactococcus lactis* and nonstarter lactobacilli in the formation of cheese aroma from amino acids. *Appl. Environ. Microbiol.* 2003, 2, 743-739.
12. *Kimoto H., Ohmomo S., Okamoto T.*: Cholesterol removal from media by lactococci. *J. Dairy Sci.* 2002, 85, 3182-3188.
13. *Kiomoto H., Kurisaki J., Tsuji N., Ohmomo S., Okamoto T.*: Lactococci as probiotic strains: adhesion to human enterocyte-like Caco-2 cell and tolerance to low pH and bile. *Lett. Appl. Microbiol.* 1999, 29, 313-316.
14. *Libudzisz Z., Walczak P., Bardowski J.*: Bakterie fermentacji mlekowej, klasyfikacja, metabolizm, genetyka, wykorzystanie. *Politechnika Łódzka, Łódź* 2004.
15. *Looijesteijn P., Trapet L., Vries E., Abee T., Hugenoltz J.*: Physiological function of exopolysaccharides by *Lactococcus lactis*. *Int. J. Food Microbiol.* 2001, 64, 71-80.
16. *Manu L., Paba A.*: Genetic diversity of lactococci and enterococci isolated from home-made Pecorino Sardo ewes' milk cheese. *J. Appl. Microbiol.* 2001, 92, 55-62.
17. *Molska I.*: Zarys mikrobiologii mleczarskiej. PWRiL, Warszawa 1988.
18. *Moneta J.*: Fermentowane produkty mleczne suplementowane bakteriami probiotycznymi. *Przegl. Mlecz.* 2006, 1, 4-8.
19. *Niel E., Hahn-Hägerdal B.*: Nutrient requirements of lactococci in defined growth media. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1999, 52, 617-627.
20. *Pillidge C., Rallabhandi P., Tong X., Gopal P., Farley P., Sullivan P.*: Autolysis of *Lactococcus lactis*. *Int. Dairy J.* 2002, 12, 133-140.
21. *Roginiński H.* (red.): Encyclopedia of Dairy Science. Academic Press, London 2003.
22. *Saboya L., Goudéranche H., Maubois J., Lerayer A., Lortal S.*: Impact of broken cells of lactococci or propionibacteria on the ripening of Saint-Paulin UF-cheeses: extent of proteolysis and GC-MS profiles. *Lait* 2001, 81, 699-713.
23. *Usajewicz I., Kornacki K.*: Wykorzystanie mikroorganizmów w produkcji fermentowanej. *Biotechnologia* 1999, 45, 65-74.
24. *Varnam A. H., Sutherland J. P.*: Milk and Milk Products. Technology, Chemistry and Microbiology. Aspen Publishers Inc., Gaithersburg, Maryland 2001.
25. *Ziajka S.* (red.): Mleczarstwo, zagadnienia wybrane. Wydawnictwo ART, Olsztyn 1997.
26. *Ziarno M., Molska I., Gronczyńska M.*: Jakość i trwałość mleka pasteryzowanego w 84°C/19-22 s. *Medycyna Wet.* 2005, 61, 1165-1168.
27. *Ziarno M., Molska I., Sobota A.*: Jakość i trwałość mleka pasteryzowanego w 74°C/19-22 s wolnego od zanieczyszczeń po pasteryzacji. *Medycyna Wet.* 2005, 61, 1052-1056.
28. *Ziarno M., Sękul E., Makowska M.*: Wiązanie cholesterolu przez kultury starterowe mezofilnych paciorkowców mlekowych. *Biotechnologia* 2006, 72, 234-246.
29. *Ziarno M.*: Charakterystyka komercyjnych kultur starterowych stosowanych w przemyśle mleczarskim. *Medycyna Wet.*, w druku.

Adres autora: dr inż. Małgorzata Ziarno, ul. Nowoursynowska 159c, 02-787 Warszawa; e-mail: małgorzata_ziarno@sggw.pl