

MONIKA TRZĄSKOWSKA

PROBIOTYKI W PRODUKTACH POCHODZENIA ROŚLINNEGO

Streszczenie

Badania prowadzone w XX wieku pozwoliły wyodrębnić drobnoustroje, tzw. probiotyki, które spożyte z żywnością szczególnie korzystnie wpływają na zdrowie konsumenta. Celem pracy było przedstawienie zasadności dodawania probiotyków do produktów roślinnych, opisanie wybranych aspektów technologii żywności roślinnej zawierającej te drobnoustroje oraz dokonanie charakterystyki surowców, które mogą stać się ich nośnikiem. Wśród czynników przemawiających za stosowaniem probiotyków w żywności roślinnej wymienia się ich wpływ na wysoką wartość żywieniową i sensoryczną oraz długą tradycję fermentowania. Ich wzrost i/lub przeżycie podczas przetwarzania i przechowywania żywności i jednocześnie zachowanie korzystnego wpływu na zdrowie można osiągnąć m.in. przez dobór odpowiedniego nośnika probiotyków, różne metody wzmacniania żywotności probiotyków oraz ich mikrokapsułkowanie. Niezwykle ważnym aspektem technologicznym jest zapewnienie odpowiednich właściwości sensorycznych produktu. Potencjalnymi nośnikami probiotyków mogą być przetworzone produkty z soi, zbóż, owoców i warzyw.

Słowa kluczowe: probiotyki, bakterie fermentacji mlekowej, soja, zboża, warzywa i owoce

Wprowadzenie

Od ponad 100 lat mikroorganizmy działające „dla życia” (gr. *pro bios*), czyli probiotyki, są przedmiotem badań naukowców. Badania te dowodzą, że złożona flora bakteryjna obecna w przewodzie pokarmowym jest skuteczna w zapewnieniu odporności i przeciwdziałaniu wielu chorobom. Jednak na skład tej ochronnej mikroflory może wpływać wiele czynników dietetycznych i środowiskowych, zakłócających stan równowagi w organizmie gospodarza. Funkcją probiotyków jest przywrócenie naturalnego stanu mikroflory, który istniał w organizmie człowieka, ale który został zakłócony przez nieprawidłowe żywienie, choroby czy też przez proces leczenia [11].

Ze względu na naturalne występowanie, właściwości i powszechną dostępność produkty pochodzenia mlecznego stały się żywnością najczęściej wzbogacaną w pro-

Dr inż. M. Trząskowska, Katedra Technologii Gastronomicznej i Higieny Żywności, Wydz. Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa

biotyki. Jednak zawartość niektórych substancji w tych produktach, np. laktozy lub cholesterolu bądź substancji alergicznych powoduje, że nie są one zalecane wszystkim konsumentom. Ponadto, istnieją diety, z których wyklucza się produkty pochodzenia zwierzęcego, co powoduje ograniczony dostęp konsumentów do probiotyków. Podejmuje się więc badania nad opracowaniem funkcjonalnych i sensorycznie akceptowanych produktów roślinnych zawierających bakterie probiotyczne.

Celem pracy było przedstawienie zasadności dodawania probiotyków do produktów roślinnych, opisanie wybranych aspektów technologicznych związanych z produkcją żywności roślinnej zawierającej te dobroczynne mikroorganizmy oraz charakterystyka surowców roślinnych, które mogą stać się ich nośnikiem.

Zasadność stosowania probiotyków w produktach pochodzenia roślinnego

Wśród przyczyn stosowania probiotyków w produktach pochodzenia roślinnego można wymienić wysoką wartość żywieniową i sensoryczną tych surowców oraz długą tradycję ich fermentowania. Ye i wsp. [37] przeprowadzili metaanalizę, której celem była ocena badań dotyczących spożycia produktów pełnoziarnistych i błonnika w stosunku do ryzyka wystąpienia cukrzycy typu 2., chorób układu krążenia, przyrostu masy ciała i metabolicznych czynników ryzyka. Doszukano się 45 prospektywnych badań kohortowych i 21 randomizowanych badań kontrolowanych między 1966 a lutym 2012 r. Wyniki z tej metaanalizy dostarczyły dowodów na poparcie tezy o korzystnym wpływie spożycia produktów z pełnoziarnistego ziarna na zapobieganie chorobom naczyniowym. W diecie wegetariańskiej z zasady spożywa się tylko żywność roślinną i tylko ją traktuje się jako potencjalny nośnik probiotyków. Stosowanie probiotyków w produktach roślinnych jest uzasadnione względami ekonomicznymi i kulturowymi oraz warunkami klimatycznymi, szczególnie w krajach azjatyckich, w których nie ma tradycji spożywania produktów mlecznych, natomiast często spożywa się fermentowane warzywa, owoce i produkty zbożowe.

Wiele tradycyjnych fermentowanych produktów spożywczych przyczynia się do utrzymania zdrowia, zapobiega rozwojowi chorób i/lub pomaga w leczeniu [18].

Żywność fermentowana powstaje w wyniku zasiedlenia surowców roślinnych przez korzystne mikroorganizmy, których enzymy, m.in. amylazy, proteazy i lipazy, hydrolizują polisacharydy, białka i lipidy do nietoksycznych substancji smakowych, zapachowych i modyfikujących teksturę i wpływają na właściwości atrakcyjne dla konsumentów [31]. Tym sposobem wzbogaca się surowce w dobroczynne mikroorganizmy oraz wytworzone przez nie substancje bioaktywne. Dodatkowo stwierdza się korzystne działanie fermentacji na zmniejszenie zawartości substancji przeciwdrożdżyczych, np. fitynianów i inhibitorów proteaz. Z uwagi na specyfikę diety wegetarianie spożywają duże ilości fitynianów zawartych w zbożach, orzechach, roślinach strączkowych i oleistych. Odgrywają one rolę w patogenezie zespołu złego wchłaniania

pierwiastków śladowych i białek. Probiotyczne bakterie fermentacji mlekowej oraz inne gatunki endogennej mikroflory przewodu pokarmowego są źródłem fitazy, która katalizuje uwalnianie fosforanów z fitynianów i hydrolizuje kompleksy utworzone przez fityniany i jony metali [12].

Lioger i wsp. [19] zbadali wpływ fermentacji otręb i pełnoziarnistej mąki pszennej na rozpad kwasu fitynowego zawartego w tych surowcach. W doświadczeniu badano także wpływ CaCO_3 (jako czynnika zwiększającego pH produktu) na degradację kwasu fitynowego oraz rozpuszczalność wapnia, magnezu i cynku. W mące już po 3 h fermentacji zaobserwowano zanik ok. 80 % początkowej ilości kwasu fitynowego. Po upływie tego samego czasu proces rozkładu tego kwasu w otrębach był wolniejszy ($p < 0,05$), jednak po 5 h fermentacji zawartość kwasu fitynowego zmniejszyła się o ok. 90 % w obydwu surowcach. Stwierdzono także zwiększoną rozpuszczalność badanych składników mineralnych mąki. Kwasowość fermentowanych surowców zmniejszyła się przez dodanie CaCO_3 , ale degradacja kwasu fitynowego była nadal obserwowana. Fermentację mąki wykorzystuje się głównie do wypieku chleba. Uzyskane w badaniu wyniki wskazują na prozdrowotne właściwości pieczywa wytworzonego na bazie zakwasu.

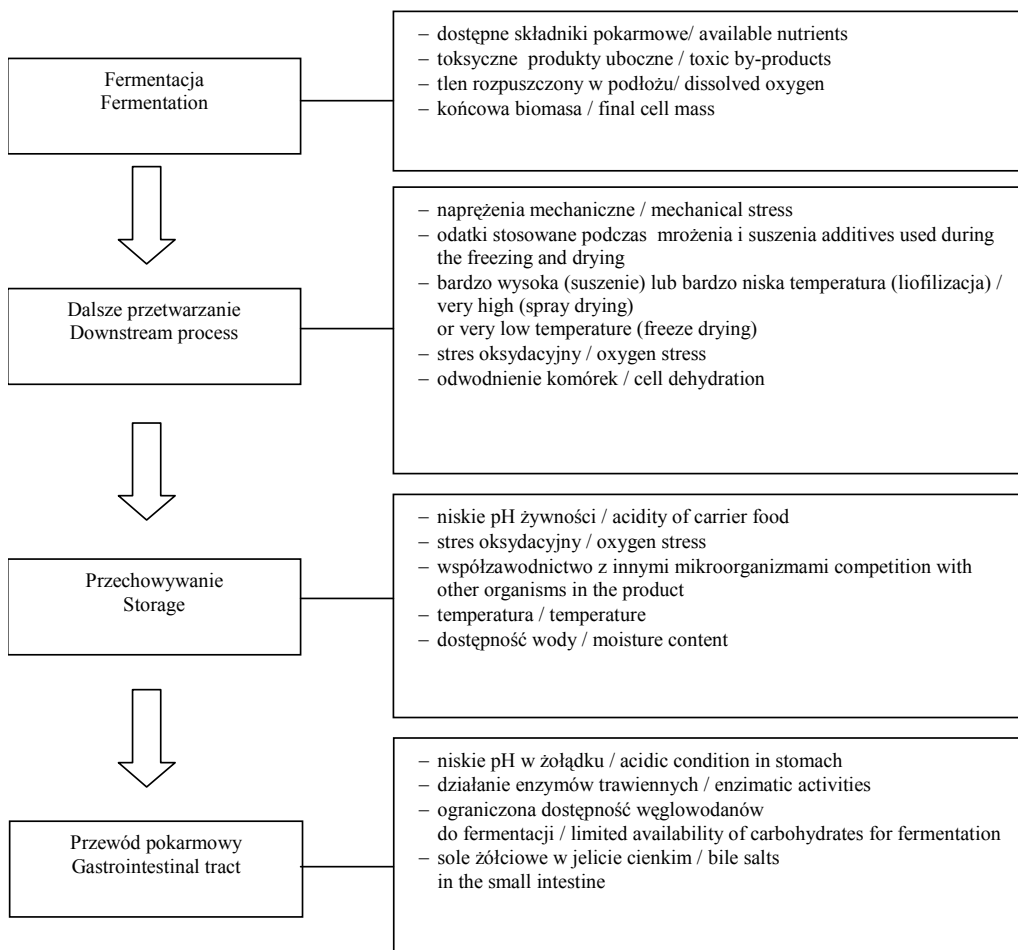
Palacios i wsp. [25, 26] poszukiwali wśród szczepów *Bifidobacterium* i *Lactobacillus* mikroorganizmów, które wytwarzają duże ilości fosfatazy i fitazy, ponieważ oba enzymy mogłyby przyczynić się do degradacji fitynianów. Szczepy *L. reuteri* (M15-L) i *L. salivarius* (L-ID15) charakteryzowały się największą aktywnością w degradowaniu fitynianów. Jednocześnie uzyskane z ich udziałem chleby nie różniły się od prób kontrolnych pod względem cech technologicznych i dłużej zachowywały świeżość. Podczas fermentacji ciasta razowego w obecności wybranych bifidobakterii (*B. catenulatum*, *B. longum*, *B. breve*) stężenie kwasu fitynowego stopniowo zmniejszało się i następowało większe uwalnianie produktów hydrolizy niż w próbie kontrolnej.

Otręby pszenne są często dodawane do wielu produktów zbożowych (płatki śniadaniowe, ciastka, makarony, pieczywo) w celu zwiększenia w nich zawartości błonnika. Wstępna fermentacja umożliwia degradację znacznej części kwasu fitynowego i zwiększa przyswajalność składników mineralnych [19]. Tę ostatnią właściwość potwierdziły m.in. badania Bergqvista i wsp. [2]. W doświadczeniu zbadano biodostępność składników mineralnych w fermentowanym soku marchwiowym. Fermentacja soku z udziałem LAB przyczyniła się do zwiększenia biodostępności żelaza. W badaniu wykluczono wpływ samego obniżenia pH na biodostępność Fe.

Aspekty technologiczne wprowadzania probiotyków do żywności roślinnej

Głównym celem spożywania probiotyków zarówno z żywnością, jak i w postaci preparatów farmaceutycznych, jest ich korzystne oddziaływanie na mikroflorę jelita

grubego. Na rys. 1. przedstawiono kilka czynników wpływających na żywotność bakterii probiotycznych w żywności do momentu przemieszczenia się do jelita grubego.



Rys. 1. Najważniejsze czynniki wpływające na żywotność probiotyków.

Fig. 1. The most important factors affecting the viability of probiotics.

Źródło: //Source: opracowanie własne na podstawie [17] / the authors' study on the basis of [17].

Najważniejszym zagadnieniem technologicznym związanym z produkcją żywności probiotycznej jest zapewnienie warunków, które będą gwarantowały żywotność probiotyków, czyli ich wzrost i/lub przeżycie podczas przetwarzania i przechowywania żywności oraz jednocześnie zachowanie korzystnego wpływu na zdrowie. Niezwykle ważnym aspektem technologicznym jest zapewnienie odpowiednich właściwości sensorycznych produktu [4].

Powyższe cele można osiągnąć stosując m.in. [36]: 1) dobór odpowiedniego nośnika probiotyków, 2) metody poprawiania żywotności probiotyków (np. przez stosowanie warunków subletalnego stresu, suplementacji surowców w składniki odżywcze) oraz 3) mikrokapsułkowanie.

Alternatywnym sposobem dostarczania probiotyków z żywnością jest unieruchomienie komórek na różnego rodzaju nośnikach, np. słomkach do picia napoju [7].

Surowce roślinne wymagają analizy zawartości składników, które będą łatwo metabolizowane przez probiotyki i oceny cech fizykochemicznych środowiska sprzyjających ich wzrostowi i przetrwaniu (np. pH, zawartość tlenu, a_w). Oprócz tradycyjnie fermentowanych produktów roślinnych prowadzi się próby polegające na dodawaniu wyselekcjonowanych szczepów bakterii do surowców dotychczas niefermentowanych [32, 33, 35].

Poprawę żywotności probiotyków w produkcji można osiągnąć poprzez wcześniejszą ekspozycję komórek na subletalny stres (tj. inkubację komórek w warunkach niedoboru składników odżywczych lub w subletalnej temperaturze, w obecności soli żółciowych, nadtlenu wodoru lub w środowisku o niskim pH). Takie działanie jest początkiem reakcji adaptacyjnej komórek oraz poprawia ich przetrwanie w niekorzystnych warunkach podczas przetwórstwa przemysłowego, tranzytu przez żołądek i kolejne odcinki przewodu pokarmowego [17].

Przeżywalność *Bifidobacterium longum* w temp. 6 °C znacznie wzrosła, gdy komórki przetrzymywano w warunkach głodu przez 30 lub 60 min [22]. Desmond i wsp. [8] stwierdzili, że warunki subletalnego stresu termicznego (52 °C przez 15 min) spowodowały wytworzenie białek szoku cieplnego w komórkach *Lactobacillus paracasei* NFBC 338. Ponowne narażenie na podwyższoną temperaturę (60 °C przez 30 min) spowodowało zmniejszenie liczby tych bakterii tylko o ok. 0,5 log jtk/ml, natomiast w próbie kontrolnej zaobserwowano spadek żywotności o ok. 2 log jtk/ml. Niskie pH w sokach owocowych działa hamująco na bifidobakterie. Działanie promieniami UV w połączeniu z inkubacją komórek *B. breve* 99 w środowisku o niskim pH może poprawić tolerancję szczepu na kwasy organiczne oraz korzystnie wpłynąć na stabilność w soku owocowym [29].

Ocena wrażliwości na niskie pH środowiska podczas produkcji i przechowywania powinna być badana w żywności (produkty modelowe). Wykazano, że *B. animalis*-subsp. *lactis* był stabilny podczas inkubacji z kwasem nieorganicznym (pH 2,5 przez 2 h). Natomiast w soku jabłkowym (pH 3,5 przez 6 tygodni) zaobserwowano zróżnicowanie jego przeżywalności [28]. Świadczy to o wpływie innych czynników niż tylko wartość pH na przeżywalność bakterii.

Probiotyki z rodzaju *Lactobacillus* można wzmocnić poprzez uzupełnienie podłoża do namnażania w niektóre związki, takie jak: glukoza, fruktoza, magnez, mangan i ekstrakt drożdżowy. Efekt stymulacji wzrostu probiotyków uzyskuje się dzięki do-

datkowi hydrolizatów kazeiny i octanów. Probiotyki z rodzaju *Bifidobacterium* wspomagają się dodatkiem witamin, maltozy i ekstraktu drożdżowego. Cennym dodatkiem są prebiotyki, czyli niestrawne polisacharydy, które w jelicie grubym selektywnie stymulują wzrost probiotyków. Większość gatunków *Bifidobacterium* metabolizuje szeroką gamę niestrawnych polisacharydów i oligosacharydów do kwasów octowego i mlekowego. Rafinoza, stachioza, fruktooligosacharydy, isomalto- i galaktooligosacharydy oraz laktuloza są skutecznie fermentowane przez rodzime lub nabyte bifidobakterie w jelicie grubym [16].

Bakterie probiotyczne poddaje się liofilizacji, czyli suszeniu sublimacyjnemu zamrożonych mikroorganizmów. Trwałość liofilizowanych komórek może być jednak zmniejszona, jeśli są one narażone na działanie warunków atmosferycznych lub jeśli są źle wykorzystywane przez konsumentów, np. przez nabieranie liofilizatu mokrą łyżką [15].

Mikrokapsułkowanie jest jedną z technik, która pozwala na stabilizację liofilizowanych komórek podczas przechowywania i po kontakcie z kwaśnym środowiskiem. Jego skuteczność w stosunku do bakterii probiotycznych udowodniono w wielu badaniach przy użyciu różnych materiałów i metod [15]. Technologia ta chroni probiotyki w żywności i podczas przemieszczania się przez przewód pokarmowy oraz umożliwia ich uwalnianie w stanie aktywnym metabolicznie w jelicie grubym [27]. Mikrokapsułkowanie może zwiększyć przeżywalność bakterii i wydajność w czasie fermentacji [23]. Zachowanie żywotności przez probiotyki łączy się z koniecznością stosowania właściwych metod przetwarzania oraz wymaga odpowiedniego rodzaju powłoki kapsułek i stosownej wielkości cząstek wchodzących w ich skład. Początkowa liczba probiotyków i ich szczep są parametrami, które także należy uwzględnić podczas stosowania tej techniki. Mikrocząstki powinny być nierozpuszczalne w wodzie, by utrzymać ich integralność strukturalną w matrycy żywnościowej oraz w górnej części przewodu pokarmowego, a przede wszystkim właściwości cząstek powinny umożliwić stopniowe uwalnianie komórek w jelicie grubym [9, 35].

Do immobilizowania mikroorganizmów najczęściej stosowane są polimery (naturalne i mające status GRAS), takie jak: chitosan (ze stawonogów), alginiany (z wodorostów), a także karagen, białka serwatkowe, pektyna, poli-L-lizyna i skrobia. Materiały te są stosowane do tworzenia jednowarstwowych otoczek lub w połączeniu z innymi tworzą wielowarstwową powłokę mikrokapsułki, która zmniejsza narażenie na tlen w czasie przechowywania i może zwiększyć ich stabilność w środowisku o niskim pH. Podwójna (lub potrójna) kapsułka może składać się z wewnętrznej warstwy alginianu zawierającego mikroorganizmy, otaczanego chitozanem, który można ewentualnie pokryć zewnętrzną warstwą alginianu, chitozanu lub innego polimeru. Stosowanie chitozanu jako zewnętrznej warstwy lepiej chroni probiotyki w symulowanych warunkach występujących w żołądku. Natomiast zaletą otoczek skrobiowych jest ich odpor-

ność na działanie amylazy trzustkowej. Dzięki temu probiotyki docierają do jelita grubego żywe, a dodatkowo skrobia ma działanie prebiotyczne [6].

Probiotyki unieruchomione na nośnikach, takich jak słomki do napojów i kapsle do butelek dostają się do żywności dopiero bezpośrednio przed spożyciem. Wadą tego rozwiązania jest wyeliminowanie fermentacji żywności i korzyści z nią związanych.

Słomki przeznaczone do jednorazowego użytku są pokryte od wewnątrz proszkiem/olejem zawierającym probiotyki. Dopiero podczas picia napoju przez taką słomkę probiotyk miesza się z napojem i trafia do przewodu pokarmowego. Firma BioGaia produkuje m.in.: „BioGaiaProTectis straw” – słomki zawierające kropelkę oleju z *L. reuteri* w ich wewnętrznej części, z dawką dobową 100 milionów aktywnych komórek. Nadaje się do picia napoju zimnego lub w temperaturze pokojowej. Inny produkt BioGaia to „LifeTop Cap” – nakrętka na butelkę z pęcherzykiem zawierającym probiotyk w proszku. Przed wypiciem zawartość butelki należy wstrząsnąć, aby proszek zmieszać z płynem [7].

Surowce roślinne jako potencjalne nośniki probiotyków

Do najczęściej wybieranych surowców roślinnych przeznaczanych do fermentowania zalicza się produkty sojowe, zbożowe oraz warzywa i owoce.

Produkty sojowe

Nasiona soi są źródłem bardzo wartościowego białka roślinnego. Decyduje o tym skład aminokwasów oraz większa zawartość żelaza i witamin z grupy B w porównaniu z innymi nasionami strączkowych. Ze względu na zawartość składników bioaktywnych, np. izoflawonów, spożywanie soi może działać profilaktycznie w odniesieniu do osteoporozy czy chorób sercowo-naczyniowych [39]. Soja zawiera także substancje przeciwdrożdżycze, np. inhibitory tripsyny. Dlatego surowiec ten wymaga odpowiedniego przygotowania do spożycia. W tab. 1. przedstawiono przykłady produktów sojowych z dodatkiem probiotyków.

Przetworzone produkty sojowe mogą być dobrym nośnikiem probiotyków ze względu na naturalne pH soi oraz dużą zawartość węgla i azotu niezbędnych do fermentacji. Dobry wzrost probiotyków w produktach sojowych może być ponadto związany z ich zdolnością do metabolizowania oligosacharydów sojowych np. rafinozy. Niektóre probiotyki wytwarzają α -galaktozydazę – enzym, który hydrolizuje oligosacharydy do sacharydów prostych [10].

Zielińska [41] podjęła próbę wyboru najbardziej odpowiedniego szczepu do fermentacji oraz najlepszych warunków fermentacji napoju sojowego. Po przeprowadzeniu badań sensorycznych napoju stwierdziła występowanie statystycznie istotnych różnic pod względem akceptacji napoju sojowego fermentowanego przy użyciu dziesięciu różnych szczepów bakterii potencjalnie prebiotycznych. Fermentowany napój

sojowy z udziałem szczepów *L. acidophilus* Bauer i *L. acidophilus* B był niżej oceniony od napojów fermentowanych np. szczepami *L. acidophilus* CH-5i *L. casei* KN 291. Uzyskane dane wykorzystano do badań polegających na skonstruowaniu prognostycznych modeli wzrostu i przeżywalności *L. casei* KN 291 w napoju sojowym przechowywanym w różnej temperaturze. Modele te w zadowalający sposób opisują zachowanie bakterii *L. casei* KN291 w fermentowanym napoju sojowym i mogą służyć do szacowania (prognozowania) liczby bakterii w zależności od czasu przechowywania [42]. Konstruowanie modeli prognostycznych staje się niezbędnym elementem nowoczesnego procesu produkcyjnego. Tego typu dane są ważne podczas analizy ryzyka lub wdrażania systemów zapewnienia bezpieczeństwa zdrowotnego żywności.

Tabela 1

Przykładowe produkty sojowe z udziałem probiotyków.
Examples of soy products with probiotics.

Produkt sojowy Soy products	Dodany probiotyk Probiotics	Zawartość probiotyku [jtk/ml lub g] Content of probiotic [cfu/ml or g]	Źródło Reference
Napój sojowy Soy drink	<i>L. acidophilus</i> , <i>L. casei</i>	$> 10^8$	[41]
Mleko sojowe Soy milk	<i>L. acidophilus</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>L. casei</i> , <i>B. longum</i>	$10^7 - 10^8$	[38]
Serek sojowy Soy cream cheese	<i>L. acidophilus</i>	$> 10^7$	[20]
Tofufa / Tofufa	<i>L. bulgaricus</i> , <i>L. fermentum</i>	$> 10^6$	[24]

Przeprowadzono badania dotyczące wpływu fermentacji produktów sojowych na zawartość wybranych substancji bioaktywnych. Yeo i Liang [38] określili wpływ prebiotyków (fruktooligosacharydów, inuliny, mannitolu, maltodekstryny i pektyny) na bioaktywność fermentowanego mleka sojowego i stwierdzili, że taka suplementacja sprzyjała zmniejszaniu ciśnienia w badaniach *in vitro* i produkcję bioaktywnych aglikonów. Tego rodzaju mleko sojowe może być wykorzystane jako składnik diety zmniejszający ryzyko wystąpienia nadciśnienia i hormonozależnych chorób, takich jak rak piersi, rak prostaty i osteoporoza.

Liang i wsp. [20] wytworzyli serek sojowy ze zmiksowanego tofu z olejem palmowym (10 %), karagenem (4 %), pektyną (1 %), maltodekstryną (4,05 %) i solą (0,96 %). Do produktu dodano kulturę *L. acidophilus* FTCC 0291 w liczbie ok. 10^8 jtk/g. Wykazano, że *L. acidophilus* FTCC 0291 był zdolny do wykorzystania istniejących cukrów redukujących w mleku sojowym i jednocześnie hydrolizował dodane

oligosacharydy. Hydroliza białka mleka sojowego spowodowała powstanie istotnych czynników wzrostu, takich jak peptydy i aminokwasy. Bardziej miękka od tofu jest tofufa, w krajach azjatyckich spożywana jako deser, szczególnie z dodatkiem słodkich syropów. Ng i wsp. [24] ocenili stabilność mikroorganizmów probiotycznych *Lactobacillus* sp. i *Bifidobacterium bifidum* BB 12 w tofufie. Dodatkowo zbadano dynamikę wzrostu, działanie przeciwdrobnoustrojowe, redukcję ilości oligosacharydów i, w badaniu *in vitro*, możliwy efekt zmniejszania ciśnienia.

Produkty zbożowe

Zboża, takie jak: pszenica, owies i ryż, zasobne w substancje odżywcze, bioaktywne oraz błonnik, są wykorzystane w codziennej diecie. Spożywanie produktów o wysokiej zawartości błonnika działa profilaktycznie i leczniczo w chorobach układu krążenia, wpływa na regulację masy ciała i prawidłową pracę jelit [37].

W różnych regionach świata fermentacji poddaje się rozmaite surowce zbożowe. Rodzaje tych produktów, metody ich wytwarzania i ich znaczenie zostały omówione w innych publikacjach [3, 41].

Produkty zbożowe fermentowane probiotykami mogą stać się bardzo korzystnym nośnikiem zarówno bioaktywnych składników zbóż, jak i mikroorganizmów. W tab. 2. przedstawiono przykłady badań nad zastosowaniem probiotyków w fermentowanych produktach na bazie zbóż.

Tabela 2

Przykładowe produkty zbożowe z udziałem probiotyków.
Examples of cereals with probiotics.

Produkt zbożowy Cereals	Dodany probiotyk Probiotics	Zawartość probiotyku [jtk/ml lub g] Content of probiotic [cfu/ml or g]	Źródło References
Napój na bazie owsa Oats based beverage	<i>L. plantarum</i>	10^{10}	[14]
Boza – napój bałkański Boza – Balkan drink	<i>L. plantarum</i> , <i>L. rhamnosus</i>	$>10^8$	[34]
Chleb / Bread	<i>L. acidophilus</i>	$>10^7$	[1]

Gupta i wsp. [14] badali wpływ różnych ilości przetworu owsianego, sacharozy i inoculum na wzrost *L. plantarum*. Ilość tych składników określono na podstawie równania Box-Behnkena, które jest elementem statystycznego planowania doświadczenia, tj. metody powierzchni odpowiedzi (ang. *Response Surface Methodology* – RSM). Zoptymalizowany produkt poddano badaniom przechowalniczym, oceniono m.in. żywotność bakterii, zawartość β -glukanu, kwasowość miareczkową, barwę i pH

napoju. Ilość dodanego przetworu owsianego i sacharozy wpływały na wzrost *L. plantarum* w napoju owsianym. Po 21 dniach przechowywania liczba bakterii utrzymywała się na poziomie ok. 10^9 jtk/ml. Zawartość β -glukanu zmieniła się podczas obróbki, fermentacji i przechowywania.

Boza jest tradycyjnym napojem w krajach bałkańskich, wytwarzanym m.in. z kukurydzy, pszenicy, prosa i innych dodatków. Stwierdzono, że naturalną mikroflorę odpowiedzialną za fermentację surowców zbożowych stanowiły drożdże i różne gatunki bakterii fermentacji mlekowej [13]. Podjęto próbę opracowania kultur starterowych [43]. Zbadano i stwierdzono pewne cechy probiotyczne szczepów izolowanych z tego napoju. Wszystkie szczepy badane przez Todorova i wsp. [34] przetrwały w warunkach symulujących przewód pokarmowy i produkowały bakteriocyny aktywne przeciwko wielu patogenom. Przyleganie do komórek HT-29 i Caco-2 było porównywalne do obserwowanego u *L. rhamnosus* GG.

Chleb jest podstawowym pożywieniem w wielu krajach, stanowi ważne źródło węglowodanów złożonych, białka, witamin i związków mineralnych. Wysoka temperatura pieczenia powoduje, że mikroorganizmy zamierają podczas tego procesu. Jednak Altamirano-Fortoul i wsp. [1] opracowali sposób wprowadzenia żywych probiotyków do chleba. W tym celu użyli mikrokapsułkowanych bakterii *L. acidophilus* w powłoce skrobiowej. Zastosowano różne powłoki probiotyczne (jedno- lub wielowarstwowe) na powierzchni częściowo upieczonego pieczywa. Przed pieczeniem na górnej powierzchni chleba rozpylano równomiernie 10 ml roztworu z probiotykiem. Podczas stosowania kilku powłok kolejno наносzono je na powierzchnię częściowo upieczonego chleba. We wszystkich próbach mikrokapsułkowany *L. acidophilus* przetrwał pieczenie (16 min w temp. 180 °C) i czas przechowywania (24 h) chleba. Początkowa liczba bakterii wynosiła $4,83 \times 10^8$ jtk/g. Pieczenie spowodowało zmniejszenie liczby bakterii o ok. 1 rząd logarytmiczny. W czasie przechowywania liczba bakterii zmniejszyła się o kolejny rząd logarytmiczny, jednak we wszystkich próbach była powyżej $1,15 \times 10^6$ jtk/g.

Dodatkową zaletą surowców zbożowych jest działanie ochronne na probiotyki podczas pasaży przez przewód pokarmowy. Charalampopoulos i wsp. [5] badali wpływ słodu, ekstraktu z jęczmienia i pszenicy na żywotność *L. plantarum*, *L. acidophilus* i *L. reuteri* podczas ekspozycji przez 4 h w buforze fosforanowym o pH 2,5. W próbie kontrolnej zaobserwowano statystycznie istotne zmniejszenie liczby badanych bakterii. Dodatek produktów zbożowych spowodował istotne zwiększenie liczby badanych drobnoustrojów, odpowiednio o 3 - 4 rzędy logarytmiczne w przypadku *L. plantarum* oraz 0,7 - 1,5 w przypadku, *L. acidophilus* i *L. reuteri*.

Warzywa i owoce

Warzywa i owoce zawierają m.in. fitozwiązki i przeciwutleniacze korzystne dla zdrowia człowieka, składniki odżywcze, w tym cukry, sole mineralne, witaminy i błonnik pokarmowy. Z tego względu mogą stać się dobrymi nośnikami probiotyków. Jedną z głównych trudności w wytworzeniu tego typu żywności probiotycznej jest niskie pH, zwłaszcza soków owocowych. Szczepy probiotyczne są często wrażliwe na niskie pH, co powoduje, że szybko zamierają w sokach owocowych. Dlatego dobór szczepów, które są bardziej odporne na kwaśne środowisko ma zasadnicze znaczenie w produkcji owocowych soków probiotycznych. W tab. 3. przedstawiono przykłady owocowych i warzywnych produktów probiotycznych fermentowanych.

Tabela 3

Przykładowe produkty warzywne i owocowe z udziałem probiotyków.

Examples of fruit and vegetable products with probiotics.

Produkt owocowy / warzywny Fruit / vegetable product	Dodane probiotyki Added probiotics	Zawartość probiotyków [jtk/ml lub g] Content of probiotics [cfu/ml or g]	Źródło Reference
Sok pomarańczowy i ananasowy Orange and pineapple juice	<i>L. casei</i> , <i>L. rhamnosus</i> , <i>B. lactis</i> , <i>L. salivarius</i>	>10 ⁶	[30]
Przecier z dyni Mashed pumpkin	<i>L. casei</i>	>10 ⁹	[32]
Sorbet z dyni Pumpkin sorbet	<i>L. casei</i>	>10 ⁸	[33]
Sok z kapusty Cabbage juice	<i>L. casei</i> , <i>L. delbrueckii</i> , <i>L. plantarum</i>	>10 ⁶	[40]
Sok marchwiowy / Carrot juice	<i>L. acidophilus</i>	>10 ¹⁰	[23]
Sok marchwiowy / Carrot juice	<i>L. acidophilus</i>	>10 ⁸	[35]

Sheehan i wsp. [30] określili żywotność *L. casei*, *L. rhamnosus*, *B. lactis*, *L. salivarius* w sokach: pomarańczowym (pH 3,65), ananasowym (pH 3,40) i z żurawiny (pH 2,50). Wszystkie badane szczepy lepiej przeżywały w sokach: pomarańczowym i ananasowym niż w żurawinowym. Oznaczono powyżej 10⁷ jtk/ml bakterii w soku pomarańczowym i powyżej 10⁶ jtk/ml w soku ananasowym przechowywanym przez co najmniej 12 tygodni w temp. 4 °C.

Yoon i wsp. [40] określili przydatność kapusty jako surowca do produkcji soku z probiotycznymi bakteriami fermentacji mlekowej (*L. plantarum* C3, *L. casei* A4 i *L. delbrueckii* D7). Sok z kapusty zaszczepiono 24-godziną kulturą bakterii i inkubowa-

no w temp. 30 °C. Bakterie rosły dobrze w tym soku (ok. 10×10^8 jtk/ml po 48 h fermentacji). Po 4 tygodniach przechowywania w temp. 4 °C, stwierdzono *L. plantarum* i *L. delbrueckii* w liczbie odpowiednio $4,1 \times 10^7$ i $4,5 \times 10^5$ jtk/ml. *L. casei* nie przetrwał niskiego pH zafermentowanego soku z kapusty i po 2 tygodniach w próbkach nie stwierdzono żywych komórek.

Szydłowska i Kołożyn-Krajewska [32] przebadaly 8 różnych szczepów bakterii potencjalnie probiotycznych w celu wybrania najlepszego do fermentowania przecieru z dyni. Na podstawie wyników badań sensorycznych wskazano 3 próby przecierów z dyni, fermentowane z udziałem różnych szczepów bakterii (*L. acidophilus* CH-2, *L. casei* KNE 1 oraz *L. casei* KN 291), o pożądalności statystycznie istotnie większej od pozostałych. Przeciery zostały wykorzystane do dalszych badań. Wytworzono z nich sorbety dyniowe z dodatkiem soków owocowych. W ocenie konsumenckiej najlepszy okazał się sorbet dyniowo-anansowy. Przechowywanie tego produktu w temp. -30 °C przez 6 miesięcy nie wpłynęło na jego jakość sensoryczną i mikrobiologiczną (oznaczono $3,5 \times 10^8$ jtk/g produktu) [33].

Surowcem odpowiednim do wzrostu i przeżycia bakterii probiotycznych jest sok marchwiowy. Nazzaro i wsp. [23] zbadali wpływ mikrokapsułkowania na zdolność fermentacji soku marchwiowego. Dodatkowo próbki soku przetrzymywano w warunkach symulujących środowisko żołądka i jelita cienkiego. Mikrokapsułkowanie znacznie zwiększyło żywotność komórek *L. acidophilus* DSM 20079 po fermentacji i przechowywaniu (odpowiednio 6×10^{12} i 4×10^{10} jtk/ml w porównaniu do 4×10^{10} i 2×10^8 jtk/ml wolnych bakterii). Unieruchomione w kapsułkach komórki przeżywały lepiej zarówno w niskim pH, jak i w soku trzustkowym. Po 3 h inkubacji w sztucznym soku żołądkowym stężenie tych komórek pozostało niemal stałe ($4,35 \times 10^{11}$ w porównaniu z $5,59 \times 10^{12}$ jtk/ml początkowego stężenia). Tendencja ta była podobna po 8 tygodniach przechowywania w temp. 4 °C. Natomiast Trzaskowska i Kołożyn-Krajewska [35] wykazały, że odpowiedni dobór szczepu pozwala wytworzyć fermentowany sok marchwiowy o pożądanym cechach sensorycznych. Najwyżej oceniono sok fermentowany szczepami *Lactobacillus acidophilus* CH-2 i *L. acidophilus* CH-5, w którym bezpośrednio po fermentacji liczba bakterii wynosiła ok. $1,02 \times 10^9$ jtk/ml. Zastosowane bakterie przeżyły okres chłodniczego przechowywania (32 dni w temp. 5 °C) w liczbie średnio $7,76 \times 10^9$ jtk/ml.

Istotnym zagadnieniem związanym z probiotykami w produktach warzywnych i owocowych jest ich wpływ na jakość sensoryczną produktu końcowego, w szczególności na zapach i smak. Luckow i wsp. [21] poddali ocenie trzy produkty: sok pomarańczowy, sok pomarańczowy zawierający probiotyki i sok pomarańczowy z probiotykiem i dodatkiem soku z innych owoców tropikalnych (10 %) w celu określenia maskującego wpływu soków tropikalnych na niepożądany zapach wytwarzany podczas fermentacji. Badacze podjęli także próbę oceny czynników, takich jak przyzwyczajenie

(długotrwałe spożywanie) i informacje na temat wpływu na zdrowie, które oddziałują na upodobania konsumentów. Wykazano, że sok tropikalny był skuteczny w maskowaniu zapachów związanych z obecnością probiotyków w soku. Przyzwyczajenie i informacja zdrowotna miały znaczący wpływ na preferencję soków zawierających kultury probiotyczne.

Podsumowanie

Probiotyki są drobnoustrojami, które, spożyte z żywnością lub w innej formie, szczególnie korzystnie wpływają na zdrowie konsumenta. Obecnie probiotyki są najczęściej zawarte w różnego rodzaju produktach mlecznych (np. mleczne napoje fermentowane, jogurty, sery).

Warto stosować probiotyki także w produktach pochodzenia roślinnego, gdyż otrzymywana żywność funkcjonalna może charakteryzować się wysoką wartością żywieniową i sensoryczną. Długa tradycja fermentowania żywności roślinnej gwarantuje jej bezpieczeństwo. Zwiększenie liczby produktów żywnościowych z probiotykami będzie korzystne nie tylko dla osób stosujących dietę wegetariańską, ale umożliwi wzbogacenie diety wszystkich konsumentów.

Produkcja żywności probiotycznej wymaga stworzenia warunków, które będą gwarantowały żywotność probiotyków. Wzrost i/lub przeżycie podczas przetwarzania i przechowywania żywności i jednocześnie zachowanie korzystnego wpływu na zdrowie można osiągnąć stosując m.in.: dobór odpowiedniego nośnika probiotyków, różne metody poprawiania żywotności probiotyków oraz ich mikrokapsułkowanie. Niezwykle ważnym aspektem technologicznym jest zapewnienie odpowiednich właściwości sensorycznych produktu [4, 34].

Do najczęściej wybieranych surowców roślinnych, stosowanych jako potencjalne nośniki probiotyków, zalicza się produkty sojowe i zbożowe oraz warzywa i owoce. Liczne badania (tab. 1, 2 i 3) nad zastosowaniem niemlecznych surowców jako nośników probiotyków dowodzą, że mikroorganizmy te znajdują w nich odpowiednie środowisko do przeżycia i rozwoju. Dobór odpowiedniego szczepu i żywności pozwoli uzyskać produkty akceptowane sensorycznie. Dalsze prace nad rozwojem tej żywności funkcjonalnej muszą uwzględnić analizę zawartości składników, które będą łatwo metabolizowane przez probiotyki i ocenę cech fizykochemicznych środowiska, które wpływają (korzystnie lub szkodliwie) na ich przetrwanie i wzrost (np. pH, zawartość tlenu, a_w). Można zmniejszać niekorzystny wpływ środowiska, np. przez poprawę tolerancji szczepu probiotycznego na kwasy organiczne zawarte w soku owocowym.

Literatura


- [1] Altamirano-Fortoul R., Moreno-Terrazas R., Quezada-Gallo A., Rosell C.: Viability of some probiotic coatings in bread and its effect on the crust mechanical properties. *Food Hydrocoll.*, 2012, **29** (1), 166-174.
- [2] Bergqvist S.W., Sandberg A.S., Carlsson N.G., Andlid T.: Improved iron solubility in carrot juice fermented by homo- and hetero-fermentative lactic acid bacteria. *Food Microbiol.*, 2005, **22** (1), 53-61.
- [3] Blandino A., Al-Aseeri M., Pandiella S., Cantero D., Webb C.: Cereal-based fermented foods and beverages. *Food Res. Int.*, 2003, **36** (6), 527-543.
- [4] Champagne C.P.: Some technological challenges in the addition of probiotic bacteria to foods. W: *Prebiotics and probiotics science and technology*. Ed. D. Charalampopoulos, R.A. Rastall, Springer, New York 2009, pp. 761-804.
- [5] Charalampopoulos D., Pandiella S., Webb C.: Evaluation of the effect of malt, wheat and barley extracts on the viability of potentially probiotic lactic acid bacteria under acidic conditions. *Int. J. Food Microbiol.*, 2003, **82** (2), 133-141.
- [6] Chavarri M., Maran I., Ares R., Ibanez F.C., Marzo F., del Carmen Villaran M.: Microencapsulation of a probiotic and prebiotic in alginate-chitosan capsules improves survival in simulated gastrointestinal conditions. *Int. J. Food Microbiol.*, 2010, **142** (12), 185-189.
- [7] Czinn S.J., Blanchard S.S.: Probiotics in foods and supplements. In: *Probiotics in pediatric medicine*. Eds. S. Michaili Ph., M. Sherman, Humana Press, 2009, pp. 299-306.
- [8] Desmond C., Fitzgerald G.F., Stanton C., Ross R.P.: Improved stress tolerance of groESL-overproducing *Lactococcus lactis* and probiotic *Lactobacillus paracasei* NFBC 338. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2004, **70** (10), 5929-5936.
- [9] Ding W., Shah N.: Acid, bile, and heat tolerance of free and microencapsulated probiotic bacteria. *J. Food Sci.*, 2007, **72** (9), 446-450.
- [10] Donkor O.N., Henriksson A., Vasiljevic T., Shah N.: α -Galactosidase and proteolytic activities of selected probiotic and dairy cultures in fermented soymilk. *Food Chem.*, 2007, **104** (1), 10-20.
- [11] Fuller R.: Probiotics in man and animals. *J. Appl. Microbiol.*, 1989, **66** (5), 365-378.
- [12] Famularo G., Simone C.D., Pandey V., Sahu A.R., Minisola G.: Probiotic lactobacilli: An innovative tool to correct the malabsorption syndrome of vegetarians? *Med. Hypotheses*, 2005, **65** (6), 1132-1135.
- [13] Gotcheva V., Pandiella S.S., Angelov A., Roshkova Z.G., Webb C.: Microflora identification of the Bulgarian cereal-based fermented beverage boza. *Process Biochem.*, 2000, **36** (1-2), 127-130.
- [14] Gupta S., Cox S., Abu-Ghannam N.: Process optimization for the development of a functional beverage based on lactic acid fermentation of oats. *Biochem. Eng. J.*, 2010, **52** (23), 199-204.
- [15] Huckle B., Zhang Z.: Maintenance and protection of probiotics. In: *Probiotics*. Ed. Min-Tze Liong, Springer Berlin Heidelberg 2011, pp. 87-108.
- [16] Kailasapathy K., Chin J.: Survival and therapeutic potential of probiotic organisms with reference to *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium* spp. *Immunol. Cell Biol.*, 2000, **78** (1), 80-88.
- [17] Lacroix C., Yildirim S.: Fermentation technologies for the production of probiotics with high viability and functionality, current opinion in biotechnology. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 2007, **18** (2), 176-183.
- [18] Lee C.-H.: Creative fermentation technology for the future. *J. Food Sci.*, 2004, **69** (2), 31-33.
- [19] Lioger D., Leenhardt F., Demigne C., Remesy C.: Sourdough fermentation of wheat fractions rich in fibres before their use in processed food. *J. Sci. Food Agric.*, 2007, **87** (7), 1368-1373.
- [20] Liong M.-T., Easa A.M., Lim P.-T., Kang J.-Y.: Survival, growth characteristics and bioactive potential of *Lactobacillus acidophilus* in a soy-based cream cheese. *J. Sci. Food Agric.*, 2009, **89** (8), 1382-1391.
- [21] Luckow T., Sheehan V., Fitzgerald G., Delahunty C.: Exposure, health information and flavour-masking strategies for improving the sensory quality of probiotic juice. *Appetite*, 2006, **47** (3), 315-323.

- [22] Maus J., Ingham S.: Employment of stressful conditions during culture production to enhance subsequent cold- and acid-tolerance of bifidobacteria. *J. Appl. Microbiol.*, 2003, **95** (1), 146-154.
- [23] Nazzaro F., Fratianni F., Coppola R., Sada A., Orlando P.: Fermentative ability of alginate-prebiotic encapsulated *Lactobacillus acidophilus* and survival under simulated gastrointestinal conditions. *J. Funct. Foods*, 2009, **1** (3), 319-323.
- [24] Ng K.-H., Lye H.-S., Easa A.-M., Liong M.-T.: Growth characteristics and bioactivity of probiotics in tofu-based medium during storage. *Ann. Microbiol.*, 2008, **58** (3), 477-487.
- [25] Palacios M., Haros M., Sanz Y., Rosell C.: Phytate degradation by *Bifidobacterium* on whole wheat fermentation. *Eur. Food Res. Technol.*, 2008, **226**, 825-831.
- [26] Palacios M.C., Haros M., Sanz Y., Rosell C.M.: Selection of lactic acid bacteria with high phytate degrading activity for application in whole wheat breadmaking. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2008, **41** (1), 82-92.
- [27] Picot A., Lacroix C.: Encapsulation of bifidobacteria in whey protein-based microcapsules and survival in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. *Int. Dairy J.*, 2004, **14** (6), 505-515.
- [28] Saarela M., Alakomi H.-L., Matto J., Ahonen A.-M., Tynkkynen S.: Acid tolerant mutants of *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* with improved stability in fruit juice. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2011, **44** (4), 1012-1018.
- [29] Saarela M., Alakomi H., Matto J., Ahonen A., Puhakka A., Tynkkynen S.: Improving the storage stability of *Bifidobacterium breve* in low pH fruit juice. *Int. J. Food Microbiol.*, 2011, **149** (1), 106-110.
- [30] Sheehan V.M., Ross P., Fitzgerald G. F.: Assessing the acid tolerance and the technological robustness of probiotic cultures for fortification in fruit juices. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2007, **8** (2), 279-284.
- [31] Steinkraus K.: Fermentations in world food processing. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2002, **1** (1), 23-32.
- [32] Szydłowska A., Kołożyn-Krajewska D.: Zastosowanie bakterii potencjalnie probiotycznych do fermentacji przecieru z dyni. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2010, **6** (73), 109-119.
- [33] Szydłowska A., Kołożyn-Krajewska D.: Możliwość zastosowania bakterii probiotycznych do produkcji sorbetów z dyni. W: *Probiotyki w żywności*. Wyd. Nauk. PTTŻ, Kraków 2010, ss. 203-218.
- [34] Todorov S., Botes M., Guigas C., Schillinger U., Wiid I., Wachsmann M., Holzapfel W., Dicks L.: Boza, a natural source of probiotic lactic acid bacteria. *J. Appl. Microbiol.*, 2008, **104** (2), 465-477.
- [35] Trzaskowska M., Kołożyn-Krajewska D.: Fermentowany sok marchwiowy z dodatkiem bakterii potencjalnie probiotycznych. W: *Probiotyki w żywności*. Wyd. Nauk. PTTŻ, Kraków 2010, ss. 161-180.
- [36] Yamaguchi C., Spier M., De Dea Lindner J., Soccol V., Soccol C.: Current Market Trends and Future Directions. In: *Probiotics*. Ed. Liong M.-T., Springer, Berlin 2011, pp. 299-319.
- [37] Ye E.Q., Chacko S.A., Chou E.L., Kugizaki M., Liu S.: Greater whole-grain intake is associated with lower risk of type 2 diabetes, cardiovascular disease, and weight gain. *J. Nutr.*, 2012, **142** (7), 1304-1313.
- [38] Yeo S.-K., Liong M.-T.: Angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity and bioconversion of isoflavones by probiotics in soymilk supplemented with prebiotics. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 2010, **61** (2), 161-181.
- [39] Yeo S.-K., Ewe J.-A., Tham C., Liong M.-T.: Carriers of probiotic microorganisms. In: *Probiotics*. Ed. Liong M.-T., Springer, Berlin 2011, pp. 191-220.
- [40] Yoon K.Y., Woodams E.E., Hang Y.D.: Production of probiotic cabbage juice by lactic acid bacteria. *Bioresource Technology*, 2006, **97** (12), 1427-1430.
- [41] Zielińska D.: Dobór szczepów bakterii *Lactobacillus* i ustalenie warunków fermentacji napoju sojowego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2005, **2** (43) Supl., 289-297.
- [42] Zielińska D., Kołożyn-Krajewska D., Goryl A.: Modele przeżywalności bakterii potencjalnie probiotycznych *Lactobacillus casei* KN291 w fermentowanym napoju sojowym. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2008, **5** (60), 126-134.
- [43] Zorba M., Hancioglu O., Genc M., Karapinar M., Ova G.: The use of starter cultures in the fermentation of boza, a traditional Turkish beverage. *Process Biochem*, 2003, **38** (10), 1405-1411.

PROBIOTICS IN PRODUCTS OF PLANT ORIGIN

S u m m a r y

Research studies carried out in the 20th century made it possible to isolate micro-organisms, the so-called probiotics, which, if consumed with food, have a particularly positive effect on consumer health. The objective of this study was to explain the reasonableness of adding probiotics to plant products, to describe the selected technological aspects of producing plant foods containing those micro-organisms, and to characterize raw products that can become their carrier. Among the factors in favour for using probiotics in plant foods, the impact thereof on high nutritive and sensory value is named as is a long tradition of fermenting them. It is possible to achieve both their growth and / or survival while foods are processed and stored, and, at the same time, to perpetuate their beneficial effect on health, among other things, by: selecting a suitable probiotics carrier, applying various methods to enhance the viability of probiotics, and micro-encapsulating them. A particularly important aspect of the technology is to ensure appropriate sensory properties of a product. Processed products of soybean, cereals, fruits, and vegetables are considered to be potential carriers of probiotics.

Key words: probiotics, lactic acid bacteria, soybeans, cereals, vegetables, fruits 

S p r o s t o w a n i e

Autorki artykułu pt. „Biotechnologiczne metody otrzymywania substancji zapachowych”, który ukazał się w czasopiśmie *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2009, 3 (64), pragną wyjaśnić, że na s. 11. tej publikacji, na której widnieje schemat szlaku metabolicznego przekształcania L-fenylalaniny do 2-fenyletanolu (schemat zaczerpnięty z publikacji Schrader et al., 2004) omyłkowo umieszczono w podpisie drożdże *Yarrowia lipolytica*.

Z danych literaturowych wynika, że udowodniono możliwość syntezy 2-fenyletanolu przez drożdże *Saccharomyces cerevisiae* lub *Kluyveromyces marxianus*. Taka zdolność nie została dotychczas opisana u wymienionego przez autorki gatunku *Yarrowia lipolytica*. Za pojawienie się wymienionego błędu autorki przepraszają.

Jolanta Krzyczkowska, Ewa Białecka-Florjańczyk i Izabela Stolarzewicz