

MARCELINA KARBOWIAK, DOROTA ZIELIŃSKA

POSTBIOTYKI – WŁAŚCIWOŚCI, ZASTOSOWANIE I WPLYW NA ZDROWIE CZŁOWIEKA

Streszczenie

Zaspokajanie głodu poprzez spożywanie żywności jest podstawową potrzebą fizjologiczną człowieka niezbędną do przetrwania. Mikrobiom zasiedlający przewód pokarmowy obejmuje m.in bakterie, a część z nich określana mianem probiotycznych wywiera pozytywny wpływ na zdrowie człowieka. Niektóre z korzystnych właściwości probiotyków można przypisać charakterystycznym metabolitom mikrobiomu, nazywanym postbiotykami, czyli składowym ścian komórkowych określonych szczepów probiotycznych lub też lizatom uwalnianym w wyniku rozpadu komórek bakteryjnych. Sposób i efekty działania postbiotyków na zdrowie człowieka nie zostały jeszcze w pełni poznane. Niemniej jednak pojawia się coraz więcej badań, które wskazują na ich działanie ograniczające stan zapalny i stres oksydacyjny, likwidujące obecność szkodliwych patogenów czy stymulujące układ odpornościowy człowieka. Ponadto postbiotyki mogą znaleźć zastosowanie w technologii żywności jako środki konserwujące, poprawiające teksturę czy dodatki funkcjonalne. Niewątpliwą zaletą stosowania postbiotyków jest ich bezpieczeństwo, łatwość dawkowania, a także stabilność podczas przechowywania. W niniejszym opracowaniu omówiono definicje postbiotyków, mechanizmy ich działania i charakterystykę substancji postbiotycznych jako składników żywności oraz ich wpływ na funkcje organizmu człowieka. Na podstawie pogłębionej analizy literatury przedmiotu należy zauważyć, że pomimo wielu obiecujących danych wydaje się, że konieczne są dalsze badania w celu identyfikacji i zrozumienia mechanizmów działania postbiotyków, a także optymalizacji ich skuteczności. Przede wszystkim należy potwierdzić skuteczność oddziaływania postbiotyków na poprawę zdrowia człowieka.

Słowa kluczowe: postbiotyki, właściwości, mechanizmy działania, żywność

Wprowadzenie

Mikrobiom jelitowy liczy ok. 100 bilionów bakterii z 1000 różnych gatunków i stanowi jeden z najbogatszych ekosystemów obecnych na Ziemi. Wykazuje on wielokierunkowe właściwości prozdrowotne wynikające m.in. z biosyntezy korzystnych

Mgr M. Karbowiak, dr hab. inż. D. Zielińska, Katedra Technologii Gastronomicznej i Higieny Żywności, Instytut Nauk o Żywieniu Człowieka, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa. Kontakt: dorota_zielinska@sggw.edu.pl

dla zdrowia metabolitów oraz z bezpośredniego wpływu na układ odpornościowy. Wiele różnych czynników, takich jak: mikrobiota matki, sposób urodzenia, sposób żywienia w okresie niemowlęcym, a następnie zakażenia drobnoustrojami, leczenie antybiotykami, dieta (żywność wysoko przetworzona, o niskiej zawartości błonnika), przewlekła biegunka czy stres wpływają znacząco na zdrowie jelit. Zaburzony skład mikrobiomu jelitowego obserwowany w licznych stanach patologicznych to dysbioza. Od dawna dysbiozę jelitową łączy się m.in. z chorobą Leśniowskiego-Crohna czy rakiem jelita grubego [11]. Powrót do stanu eubiozy, w którym bakterie znajdują się w stanie równowagi, możliwy jest poprzez zastosowanie probiotyków, prebiotyków, synbiotyków lub postbiotyków w postaci farmaceutyków, suplementów diety bądź żywności.

Żywność, która wpływa na poprawę zdrowia ludzi, czy leczy choroby, to nowoczesna koncepcja, która jest przedmiotem zainteresowania badaczy. Obserwuje się duży popyt na żywność probiotyczną zawierającą żywą mikrobiotę jelitową wpływającą korzystnie na różne funkcje organizmu człowieka, w tym na zwiększenie odporności poprzez regulację funkcjonowania przewodu pokarmowego i na działanie przeciwnowotworowe. Jak podają Cicens i wsp. [9], część korzystnych właściwości probiotyków wynika z substancji wydzielanych przez nie, produktów ich metabolizmu czy substancji uwalnianych w wyniku lizy ich komórek. Do określania tych substancji stosuje się terminy takie, jak: postbiotyki, metabiotyki, metabolity bakteryjne, bezkomórkowe supernatanty, metaboliczne resztki aktywności probiotycznej, a także nieżywotne probiotyki, inaktywowane probiotyki, czy probiotyki widmo [2].

Celem niniejszego opracowania była charakterystyka postbiotyków, ich głównych właściwości, a także przedyskutowanie możliwości zastosowania postbiotyków jako dodatków funkcjonalnych do żywności.

Historia i definicja postbiotyków

Pojęcia probiotyków oraz prebiotyków są dobrze znane i powszechnie stosowane. Natomiast pojęcie „postbiotyki” jest stosunkowo nowym terminem, który pojawia się w piśmiennictwie od ok. 10 lat. Pierwsze terminy „paraprobiotyki” i „nieżywotne komórki drobnoustrojów” oraz ich synonimy zaczęły pojawić się w literaturze już po 1986 roku [52]. Z kolei jednym z najwcześniejszych przykładów opisanego w literaturze potencjału postbiotycznego były prace z 1996 oraz z 1999 roku, w których Sütas i wsp. [42] oraz Pessi i wsp. [33] wykazali, że homogenaty bakterii probiotycznych *Lactobacillus rhamnosus* GG (ATCC 53103) hamowały proliferację limfocytów. Tsilingiri i Rescigno [47] definiują postbiotyki jako „każdy czynnik wynikający z aktywności metabolicznej probiotyku lub dowolnej uwolnionej cząsteczki zdolnej do przekazania gospodarzowi korzystnych efektów w sposób bezpośredni lub pośredni”. Collado i wsp. [10] proponują postbiotykami nazywać „związki wytwarzane przez mikroorga-

nizmy, uwalniane ze składników żywności lub składników drobnoustrojów, w tym nieżywotnych komórek, które podawane w odpowiednich ilościach promują zdrowie i dobre samopoczucie gospodarza”. Istnieje wiele definicji postbiotyków, jednak jak dotąd żadna nie uzyskała międzynarodowej akceptacji [2]. W praktyce termin „postbiotyk” został wprowadzony w celu odróżnienia żywych komórek bakterii (probiotyków) od produktu bioaktywnego, zawierającego martwe mikroorganizmy i ich metabolity, takie jak rozpuszczalne czynniki wydzielane przez żywe bakterie lub uwalniane po lizie bakteryjnej szczepów probiotycznych, w tym enzymy, peptydy, kwasy teichowe, białka powierzchni komórek, polisacharydy czy kwasy organiczne [2]. W technologii żywności, a także technologii medycznej, fermentacja jest procesem, który wywołuje powstawanie postbiotyków [45]. W przeważającej liczbie przypadków postbiotyki identyfikuje się jako metabolity szczepów probiotycznych, takich jak: *Bifidobacterium breve*, *B. lactis*, *B. infantis*, *Bacteroides fragilis*, *Lactobacillus*, a także *Escherichia coli* i *Faecalibacterium prausnitzii* [47]. Postbiotyki wykazują zbliżone funkcje do probiotyków, a efekt ich działania może być podobny. Postbiotyki mają szereg zalet, które dają im przewagę w stosowaniu, m.in. mają określony skład chemiczny, można ustalić parametry bezpiecznej dawki oraz wykazują dłuższy okres trwałości (nawet do 5 lat, gdy postbiotyk jest stosowany jako składnik żywności i napojów lub jako suplementy diety) [2]. Poza tym postbiotyki są niepatogenne i nietoksyczne oraz odporne na hydrolizę przez enzymy układu pokarmowego ssaków [20]. Zawierają także cząsteczki sygnałowe, które stymulują układ immunologiczny, wykazują działanie przeciwzapalne, immunomodulujące, zapobiegające otyłości oraz nadciśnieniu tętniczemu, antyproliferacyjne, przeciwtleniające i hipocholesterolemiczne [2].

Rodzaje postbiotyków

Badania nad postbiotykami koncentrują się głównie nad możliwością ich wyodrębnienia i podania, aby uzyskać pozytywny efekt działania w organizmie człowieka. Zazwyczaj wytwarzanie postbiotyków obejmuje techniki niszczenia błon komórkowych i uwalniania ich zawartości, w wyniku działania obróbki cieplnej i enzymatycznej, ekstrakcji rozpuszczalnikiem i sonikacji (zastosowania ultradźwięków). Etapy postprodukcji obejmują dodatkową ekstrakcję i wirowanie, dializę, liofilizację i chromatografię kolumnową [2].

Podziału postbiotyków można dokonać ze względu na zawarte w nich substancje, do których należą te o charakterze lipidowym, białkowym, węglowodanowym, witaminowym/koenzymatycznym, pochodne kwasów organicznych i związki bardziej kompleksowe, takie jak muropeptydy czy kwas lipotejchojowy [47]. Inny podział obejmuje postbiotyki powstające zewnątrz- i wewnątrzkomórkowo. Składniki ściany komórkowej obejmują takie związki, jak pozakomórkowe substancje polimerowe i peptydoglikany. Z kolei głównymi metabolitami wewnątrzkomórkowymi są kwasy

organiczne, takie jak: kwas mlekowy i kwas octowy, krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe (SCFA), do których należą kwasy: masłowy, octowy i propionowy, bakteriocyny, takie jak acidofilina, bifidyna, reuteryna czy peptydy, w tym białka p40, p75 i laktocepina [2]. Rzadziej stosuje się podział postbiotyków na podstawie ich funkcji fizjologicznych (bezpośrednio oddziałujących na komórki nabłonkowe jelita), czyli ze względu na ich oczekiwane efekty działania, do których zalicza się m.in. działanie stymulujące układ odpornościowy, przeciwzapalne i przeciwbakteryjne. Wspomniane efekty miejscowe wykazują komponenty ścian komórkowych. Z kolei za efekty systemowe odpowiedzialne są metabolity wewnątrzkomórkowe, które wykazują działanie

Tabela 1. Podział postbiotyków ze względu na skład chemiczny
Table 1. Dividing postbiotics according to their chemical composition

Skład chemiczny Chemical composition	Metabolity bakteryjne Bacterial metabolites	Komponenty bakteryjne Bacterial components
Enzymy Enzymes	pozakomórkowa peroksydaza glutationowa, dysmutaza ponadtlenkowa, peroksydaza NADH eGPx, superoxide dismutase, NADH-peroxidase	–
Lipidy Lipids	krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe (masłowy, octowy, propionowy), plazmalogeny SCFA (butyrate, acetate, propionate), plasmalogen	–
Białka Proteins	laktocepina, białko p40, białko p75, bakteriocyny / lactocepina, p40 molecule, p75 molecule, bacteriocin	peptydoglikany peptidoglycans
Sacharydy Saccharides	egzopolisacharydy exopolysaccharides	galaktopolisacharydy, kwas teichojowy / galactose-rich polysaccharides, teichoic acids
Witaminy/koenzymy Vitamins/co-factors	witaminy z grupy B, witamina K B-group vitamins, vitamin K	–
Kwasy organiczne Organic acids	kwas 3-fenylmlekowy, octowy, etanol, izopropanol, izobutanol 3-phenyllactic acid, acetic, ethanol, 1-propanol, isobutanol	–
Cząsteczki kompleksowe Complexes molecules	–	muropeptydy, kwasy lipoteichoiczne muropeptides, lipoteichoic acids
Inne Others	nadtlenek wodoru hydrogen peroxide	pozakomórkowe substancje polimerowe / extracellular polymeric substances

Źródło / Source: opracowanie własne na podstawie [2, 45, 47] / the author's own study based on [2, 45, 47]

zapobiegające nadciśnieniu tętniczemu, obniżające poziom cholesterolu czy bezpośrednie działania przeciwnowotworowe obejmujące działanie proapoptyczne, antypro-

liferacyjne, antyangiogenne i przeciwutleniające [39]. W tab. 1. zebrano informacje dotyczące podziału postbiotyków ze względu na skład chemiczny.

Funkcje i mechanizmy działania postbiotyków

Można przyjąć, że postbiotyki stymulują mikrobiom jelitowy i wspierają funkcje immunologiczne jelit. Bioaktywne składniki pochodzące z probiotyków, czyli postbiotyki, odgrywają podobną rolę ochronną w funkcjonowaniu bariery jelitowej jak żywe probiotyki. Zwiększają ekspresję genu odpowiedzialnego za produkcję mucyny jelitowej (MUC2), chroniąc barierę jelitową przed urazami wywołanymi przez lipopolisacharyd (LPS) lub czynnik martwicy nowotworów (TNF- α) [16].

Postbiotyki mogą wpływać na procesy epigenetyczne, takie jak: metylacja DNA, fosforylacja, biotynylacja, acetylacja histonów i interferencja RNA. Dzięki temu mogą kontrolować epigenetyczną odpowiedź komórek gospodarza [32]. Wymienione procesy wpływają z kolei na immunomodulację, wykluczenie konkurencyjne i regulację funkcji bariery komórkowej nabłonka, co pozytywnie wpływa na zapobieganie różnym chorobom, w tym nowotworom, chorobie Leśniowskiego-Crohna, zaburzeniom autoimmunologicznym i chorobom wynikającym ze współczesnego stylu życia [39].

Związki postbiotyczne mogą także odgrywać rolę w hamowaniu namnażania się patogenów. Składnikami postbiotycznymi odpowiedzialnymi za hamowanie patogenu są bakteriocyny i kwasy organiczne [19]. Bakteriocyny to syntetyzowane peptydy przeciwdrobnoustrojowe wykazujące właściwości bakteriostatyczne lub bakteriobójcze. Kareem i wsp. [19], Ołdak i wsp. [28] oraz Mariam i wsp. [22] dowiedli, że postbiotyki pozyskane z różnych gatunków *Lactobacillus* hamują zarówno patogenne bakterie Gram-dodatnie, jak i Gram-ujemne (m.in. *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica*, czy *Escherichia coli*). Kang i wsp. [18] wykazali, że postbiotyki pochodzące ze szczepu *L. rhamnosus* GG mają pozytywny wpływ na terapię przeciwko *Helicobacter pylori*. Z kolei Cicenia i wsp. [9] zaobserwowali w badaniach *in vitro* także działanie ochronne supernatantu z hodowli *L. rhamnosus* GG przed uszkodzeniem komórek mięśniowych jelita grubego

Canonici i wsp. [6] stwierdzili, że supernatant otrzymany z hodowli *Saccharomyces boulardii* wzmacnia funkcję barierową i poprawia angiogenezę *in vitro* i *in vivo* w komórkach nabłonkowych poprzez aktywację receptorów kolagenu integryny $\alpha 2\beta 1$, przez co chroni przed zaburzeniami integralności jelitowej. Wzmacnia funkcje odpornościowe poprzez poprawę zdolności do zwalczania infekcji, np. zwiększając odpowiedź przeciwciał na patogeny oraz wpływając na funkcjonowanie bariery jelitowej. Wymienieni autorzy zasugerowali także, że supernatant może wspierać proces regeneracji nabłonka jelit.

Funkcje postbiotyków wraz z wybranymi przykładami badań potwierdzających ich działanie przedstawiono w tab. 2.

Mechanizmy działania postbiotyków nie zostały jeszcze w pełni poznane. Często nie do końca możliwe jest wskazanie, czy efekt ochronny można przypisać probiotykom, czy już postbiotykom, nawet jeśli mechanizmy działania mogą się różnić [27]. Dla przykładu hipocholesterolemiczne mechanizmy probiotycznych bakterii działają na zasadzie hamowania jelitowej adsorpcji cholesterolu i tłumienia ponownego wchłaniania kwasu żółciowego [27]. Z drugiej strony Nakamura i wsp. [24] donoszą, że postbiotyki stymulują receptory aktywowane przez proliferatory peroksysomów, które powodują β -oksydację kwasów tłuszczowych uwolnionych z triacylogliceroli. Chi i wsp. [8] stwierdzili, że postbiotyki aktywują białko NOD1, które indukuje autonomiczną komórkową lipolizę w adipocytach, dzięki czemu postbiotykom można przypisać korzystne działanie na metabolizm lipidowy człowieka.

Postbiotyki wykazują również działanie antyproliferacyjne przeciwko komórkom nowotworowym okrężnicy, najprawdopodobniej związane z aktywacją proapoptotycznego szlaku śmierci komórki poprzez regulację odpowiedzi immunologicznej [44]. Escamilla i wsp. [14] udowodnili, że postbiotyki uzyskane ze szczepów *Lactobacillus* mogą zmniejszać aktywność metaloproteinazy-9, która odpowiada za hamowanie inwazji raka okrężnicy. W celu wyjaśnienia, jaki związek odpowiedzialny był za ten efekt, autorzy frakcjonowali supernatant bezkomórkowy na podstawie masy cząsteczkowej. Stwierdzili, że aktywna frakcja hamująca odpowiadała związkom o masie $> 100 \cdot 10^3$ Da i $(50 \div 100) \cdot 10^3$ Da, co wskazuje, że związkiem hamującym może być makrocząsteczka, taka jak białko, kwas nukleinowy lub polisacharyd. Już na początku XXI wieku Saide i Gilliland [37] wykazali, że bezkomórkowe ekstrakty z bakterii kwasu mlekowego mogą przejawiać znacznie większą zdolność przeciwutleniającą niż hodowle całych komórek i zasugerowali, że przeciwutleniające działanie można przypisać zarówno enzymatycznym, jak i nieenzymatycznym wewnątrzkomórkowym przeciwutleniaczom. Ponadto *B. infantis*, *B. breve*, *B. adolescentis* i *B. longum* są zdolne do degradacji nadtlenu wodoru poprzez produkcję peroksydazy NADH. Peroksydaza glutationowa i reduktaza glutationowa to dwa ważne enzymy przeciwutleniające, które chronią komórki przed uszkodzeniem oksydacyjnym poprzez wychwytywanie reaktywnych form tlenu (ROS). Jednakże Shimamura i wsp. [41] sugerują, że także inne komponenty bakteryjne mogą być zaangażowane w działanie przeciwutleniające. Aktywność przeciwutleniająca takiego nieenzymatycznego postbiotyku może być spowodowana działaniem ROS i zjawiskiem oczyszczania przez reaktywne formy azotu [3].

Tabela 2. Przykłady badań *in vitro* i *in vivo* postbiotyków, ich bioaktywność i efekty działania
 Table 2. Examples of *in vitro* and *in vivo* studies on postbiotics, their bioactivity and effects

Bioaktywność Bioactivity	Postbiotyki / Postbiotic	Efekt badania / Research effect	Literatura Reference
Działanie przeciwutleniające Antioxidant capacity	CFS z 4 szczepów <i>Bifidobacterium</i> CFS of 4 strains of <i>Bifidobacterium</i>	Zdolność degradacji nadlenku wodoru poprzez produkcję peroksydazy NADH / Capability of degrading hydrogen peroxide by producing NADH peroxidase	[41]
	CFS z 4 szczepów <i>Lactobacillus</i> CFS of 4 strains of <i>Lactobacillus</i>	Zdolność do ochrony β -fikoerytryny przed utlenianiem rodnikowym Capability to protect β -phycoerythrin from radicaloxidation	[37]
	IC z 7 szczepów <i>Bifidobacterium</i> , 11 <i>Lactobacillus</i> , 6 <i>Lactococcus</i> i 10 <i>Strep. thermophilus</i> / IC of 7 <i>Bifidobacterium</i> , 11 <i>Lactobacillus</i> , 6 <i>Lactococcus</i> and 10 <i>Strep. thermophilus</i> strains	Ograniczenie nadmiernych ilości reaktywnych rodników Limitation of excessive amounts of reactive radicals	[3]
	CFS z <i>Pediococcus acidilactici</i> GMB7330 CFS of <i>Pediococcus acidilactici</i> GMB7330	Zdolność do hamowania wzrostu <i>H. pylori</i> Capability to inhibit the growth of <i>H. pylori</i>	[18]
Działanie przeciwbakteryjne Antimicrobial capacity	CFS z LAB i różnych gatunków drożdży CFS of LAB and yeast species	Działanie przeciwbakteryjne względem patogenów Antibacterial activity against pathogens	[2, 22]
	CFS z 6 szczepów <i>L. plantarum</i> CFS of 6 strains of <i>L. plantarum</i>	Hamowanie proliferacji bakterii chorobotwórczych Inhibition of proliferation of pathogenic bacteria	[19]
Działanie przeciwnowotworowe Anti-cancer capacity	FC z <i>L. casei</i> ATCC 393 FC of <i>L. casei</i> ATCC 393	Działanie hamujące rozwój nowotworów, przeciwproliferacyjne i proapoptotyczne / Tumour-inhibitory, anti-proliferative and pro-apoptotic effects	[44]
	CFS z <i>Lactobacillus casei</i> i <i>Lactobacillus rhamnosus</i> GG / CFS of <i>Lactobacillus casei</i> and <i>Lactobacillus rhamnosus</i> GG	Zmniejszenie aktywności metaloproteinazy 9 hamującej inwazję raka okrężnicy / Decreasion metalloproteinase-9 activity that inhibits colon cancer invasion	[14]

Działanie przeciwotyłości Anti-obesogenic capacity	Peptydoglikan Peptidoglycan	Aktywacja białka NOD1, które indukuje autonomiczną komórkową lipolizę w adipocytach / Activation of the NOD1 protein, which induces autonomous cellular lipolysis in adipocytes	[8]
	FC z <i>L. amylovorus</i> CP1563 FC of <i>L. amylovorus</i> CP1563	Zapobieganie i leczenie dyslipidemii Prevention and treatment of dyslipidemia	[24]
	FC z <i>Lactobacillus gasseri</i> SBT2055 FC of <i>Lactobacillus gasseri</i> SBT2055	Hamowanie jelitowej adsorpcji cholesterolu i tłumienie ponownego wchłaniania kwasów żółciowych / Inhibition of intestinal cholesterol adsorption and suppression of bile acid re-absorption	[27]
Działanie immunomodulacyjne Immunomodulation capacity	CFS z <i>Saccharomyces boulardii</i> CFS of <i>Saccharomyces boulardii</i>	Poprawa zdolności migracji komórek nabłonka poprzez aktywację receptorów kolagenu integryny $\alpha 2\beta 1$ / Improvement of epithelial cells migration via activation of $\alpha 2\beta 1$ integrin collagen receptors	[6]
	CFS z <i>L. rhamnosus</i> GG CFS of <i>L. rhamnosus</i> GG	Ochrona ludzkich komórek mięśni gładkich okrężnicy przed uszkodzeniami miogennymi wywołanymi przez lipopolisacharydy (LPS) / Protection of human colonic smooth muscle cells (HSMCs) against lipopolysaccharide (LPS) induced myogenic damage	[9]
	CFS z <i>L. rhamnosus</i> GG CFS of <i>L. rhamnosus</i> GG	Działanie ochronne na funkcję bariery jelitowej u myszy Protective effect on intestinal barrier function in mice	[16]

Objaśnienia / Explanatory notes:

CFS – bezkomórkowy supernatant / cell-free supernatant, FC – fragmenty komórek / fragmented cells, IC – wewnątrzkomórkowa zawartość / intracellular content.

Wszystkie powyższe właściwości wskazują, że postbiotyki mogą przyczyniać się do poprawy stanu zdrowia organizmu poprzez zapewnienie specyficznych efektów fizjologicznych, chociaż dokładne mechanizmy pozostają wciąż do wyjaśnienia [2].

Postbiotyki jako składniki żywności

Wiedza na temat żywności funkcjonalnej przyczyniła się do opracowania nowej generacji produktów wywołujących korzystne efekty zdrowotne, w tym produktów zawierających probiotyki. Pewną niedogodnością związaną ze stosowaniem probiotyków jest możliwość występowania genów oporności na antybiotyki w przypadku niektórych szczepów, co w konsekwencji może prowadzić do transferu genów oporności na antybiotyki do bakterii chorobotwórczych [17]. Kolejny główny problem związany z preparatami probiotycznymi (tj. farmaceutycznymi i handlowymi produktami żywnościowymi) to utrzymanie żywotności bakterii podczas wytwarzania i przechowywania produktu. Na żywotność organizmu probiotycznego w czasie przechowywania mogą wpływać różne zmienne, jak: interakcje z innymi obecnymi gatunkami drobnoustrojów, końcowa kwasowość produktu, aktywność wody, temperatura, dostępność składników odżywczych, stymulatory wzrostu i inhibitory, poziom inokulacji, czas fermentacji, tlen i procesy (liofilizacja, suszenie rozpyłowe, zamrażanie) [45]. Postbiotyki są bardziej stabilne niż żywe bakterie, z których pochodzą [49]. Już w 2004 roku Phister i wsp. [34] donosili, że peptydy o właściwościach przeciwdrobnoustrojowych, a mianowicie bakilizyna i chlorotetaina, wyprodukowane przez szczep *Bacillus* sp. CS93 są rozpuszczalne w wodzie i aktywne w szerokim zakresie pH, co może wpłynąć na ich zastosowanie w szerokiej gamie produktów spożywczych.

Ważną zaletą postbiotyków jest ich korzystny profil bezpieczeństwa. Można je stosować w kontrolowany i znormalizowany sposób, podczas gdy stosowanie żywych bakterii uzależnione jest od liczby i aktywności metabolicznej danego szczepu [40]. Nierzadko postbiotyki wykorzystuje się także jako dodatki do żywności, ponieważ zwiększają żywotność endogennych szczepów probiotycznych w organizmie człowieka. Taki proces jest znacznie bezpieczniejszy niż dodawanie do żywności szczepów probiotycznych, które następnie oddziałują na ekosystem mikrobiologiczny jelit [15]. Ponadto w przypadku postbiotyków możliwe jest również znacznie lepsze kontrolowanie ilości podawanych substancji oraz składu preparatów. Tak więc wybrane postbiotyki mogą stać się częścią bakteryjnej strategii biologicznej w leczeniu wielu chorób i wspomaganiu zdrowia człowieka, jednak dużym wyzwaniem jest wdrożenie wiedzy naukowej do sfery przemysłu [2].

Obecnie wiele postbiotyków znajduje zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym. Przykładem jest bezbiałkowy filtrat uzyskany z hodowli *E. coli*, który zawiera aminokwasy, peptydy, polisacharydy i kwasy tłuszczowe. Działa on hamująco na rozwój zarówno wrażliwych na antybiotyki, jak i opornych na nie pałeczek *Salmonella*.

Z kolei inny pozbawiony bakterii produkt zawierający produkty metabolizmu (takie jak: krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe, kwas mlekowy i inne niezidentyfikowane metabolity) z *E. coli* DSM 4087, *Streptococcus faecalis* DSM 4086, *L. acidophilus* DSM 414 i *L. helveticus* DS 4183 okazał się skuteczny w leczeniu dysbakteriozy jelitowej pacjentów z przewlekłym zapaleniem żołądka [29] oraz w zmniejszaniu częstości i nasilenia biegunki związanej z radioterapią [43]. Jeszcze inny produkt wyizolowany ze zmikronizowanych lizatów ścian komórkowych następujących gatunków bakterii: *L. rhamnosus*, *B. bifidum*, *L. acidophilus*, *B. infantis*, *B. longum*, *S. thermophilus*, *L. plantarum*, *L. salivarius*, *L. reuteri*, *L. casei*, *L. bulgaricus*, *L. acidophilus* DDS-1 i *L. sporogenes* wykazał działanie polegające na zmniejszeniu nasilenia dolegliwości ze strony przewodu pokarmowego u dzieci z autyzmem [53].

Wiele produktów żywnościowych jest naturalnie bogatych w postbiotyki lub ich prekursorzy (np. jogurt, kefir, kiszone warzywa czy kombucha). W niektórych przypadkach postbiotyki są celowo dodawane do żywności zamiast rozważania ich produkcji *in situ* przez bakterie probiotyczne. W tab. 3. przedstawiono przykłady zastosowania postbiotyków w technologii żywności.

Do korzystnych zastosowań postbiotyków w technologii żywności zalicza się m.in. działanie konserwujące bakteriocyn i kwasów organicznych stosowanych w różnej postaci. Na przykład zaobserwowano, że bezkomórkowy supernatant pozyskany z *L. plantarum* YML007 wykazuje właściwości biokonserwujące ziarna soi [35]. W przetwórstwie mięsnym wykorzystywane są głównie bakteriocyny, takie jak: nizyna, reuteryna, laktocyna czy sakacyna. Podstawowy kierunek ich wykorzystania to hamowanie rozwoju *L. monocytogenes* [51, 36], np. supernatant pozyskany z *Lactobacillus sakei* NRRL B-1917 wpłynął na ograniczenie wzrostu *L. monocytogenes* w wołowinie [12]. W innym badaniu pediocyna pozyskana z *Pediococcus acidilactici* PA-2 spowodowała zwiększenie okresu trwałości suchych kiełbas, dzięki redukcji liczby bakterii *E. coli* O157: H7 i całkowitej eliminacji *L. monocytogenes* [21]. Również bakteriocyny wyizolowane z *L. plantarum* SC01 znacząco zahamowały wzrost bakterii chorobotwórczych w mięsie wieprzowym [46]. Jedną z największych zalet stosowania bakteriocyn jest ich oporność na wysoką temperaturę, dzięki czemu można je dodawać do żywności, która będzie podgrzewana lub gotowana [50]. Jak dotąd większość z tych rozwiązań nie została skomercjalizowana. Jedynym postbiotykiem zatwierdzonym do stosowania jako środek konserwujący żywność jest wspomniana już nizyna – lantybiotyk wytwarzany przez specyficzny szczep *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*. Przykładami produktów spożywczych zawierających nizynę są m.in. zupy w puszkach, lód do przechowywania świeżych ryb, żywność dla niemowląt, wypieki piekarnicze, majonez i produkty mleczne, zwłaszcza sery [7]. Nizyna ma także właściwości zapobiegające rozwojowi grzybów strzępkowych [25]. Przede wszystkim działa hamująco na różne

rodzaje bakterii, zarówno należące do bakterii kwasu mlekowego, jak i do typowych patogenów żywności, w tym: *Salmonella*, *Listeria* lub *Clostridium* [23, 30].

Tabela 3. Przykłady zastosowania wybranych postbiotyków w technologii żywności
Table 3. Examples of application of selected postbiotics in food technology

Produkt / Product		Postbiotyk / Postbiotics	Literatura Reference
Mięso i produkty mięsne Meat and meat products	Sucha kiełbasa Dry sausage	Pediocyna z <i>Pediococcus acidilactici</i> PA-2 Pediocin of <i>Pediococcus acidilactici</i> PA-2	[21]
	Świeże mięso wołowe Fresh beef meat	CFS z <i>Lactobacillus sakei</i> NRRLB-1917 CFS of <i>Lactobacillus sakei</i> NRRLB-1917	[12]
	Gotowe do spożycia produkty mięsne (np. hot dogi) Ready-to-eat meat products (i.e., hot dogs)	CFS z <i>Lactobacillus curvatus</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Pediococcus acidilactici</i> , <i>Enterococcus faecium</i> / CFS of <i>Lactobacillus curvatus</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Pediococcus acidilactici</i> , <i>Enterococcus faecium</i>	[50]
	Mięso wieprzowe Pork meat	Bakteriocyna z <i>Lactobacillus plantarum</i> SC01 Bacteriocin of <i>Lactobacillus plantarum</i> SC01	[46]
Mleko i produkty mleczne Milk and milk products	Świeży ser Fresh cheese	Enterocyna z <i>Enterococcus faecalis</i> L3B1K3 Enterocin of <i>Enterococcus faecalis</i> L3B1K3	[36]
		Nizyna z <i>Lactococcus lactis</i> Nizin of <i>Lactococcus lactis</i>	[23]
	Sery o obniżonej zawartości tłuszczu / Low-fat cheeses	EPS z LAB EPS of LAB	[5]
	Budyń mleczny Milk pudding	Nizyna z <i>Lactococcus lactis</i> Nizin of <i>Lactococcus lactis</i>	[30]
Jogurt Yoghurt	EPS z <i>Lactobacillus fermentum</i> Lf2 I <i>Bifidobacterium animalis</i> subsp. <i>lactis</i> IN L1 EPS of <i>Lactobacillus fermentum</i> Lf2 I <i>Bifidobacterium animalis</i> subsp. <i>lactis</i> IN L1	[1]	
Produkty pochodzenia roślinnego Products of plant-origin	Chleb pełnoziarnisty Whole wheat bread	CFS z <i>Lactobacillus reuteri</i> L-M15 i <i>Lactobacillus salivarius</i> L-ID15 CFS of <i>Lactobacillus reuteri</i> L-M15 and <i>Lactobacillus salivarius</i> L-ID15	[31]
	Ziarna soi Soy beans	CFS z <i>Lactobacillus plantarum</i> YML007 CFS of <i>Lactobacillus plantarum</i> YML007	[35]
	Żywność płynna (żywność dla niemowląt, soki) Liquid foods (baby food, juices)	Kwasy organiczne: mlekowy, jabłkowy, mrówkowy, fosforowy, propionowy, cytrynowy, winowy i octowy z LAB / Organic acids: lactic, malic, formic, phosphoric, propionic, citric, tartaric and acetic from LAB culture	[4]
	Żywność funkcjonalna Functional foods	EPS z <i>Lactobacillus plantarum</i> BR2 EPS of <i>Lactobacillus plantarum</i> BR2	[38]

Postbiotyki to także kwasy organiczne, szczególnie kwas mlekowy produkowany przez bakterie probiotyczne, który wykazuje silne działanie konserwujące. Obniżone przez kwasy organiczne pH środowiska wpływa hamująco na rozwój niepożądanych

drobnoustrojów w produktach spożywczych [4, 26]. To działanie znalazło zastosowanie w przetwórstwie m.in. owocowo-warzywnym, dzięki nadaniu kiszonkom charakterystycznego smaku, a także zatrzymaniu rozwoju drobnoustrojów patogennych w jelitach, przy jednoczesnej stymulacji wzrostu drobnoustrojów pożądanых [48].

Inne specyficzne postbiotyki – egzopolisacharydy (EPS) zawierające rzadko występujące cukry – zostały zbadane pod kątem nowych zastosowań w przemyśle spożywczym ze względu na ich znaczącą rolę w kształtowaniu cech fizykochemicznych (lepkość, stabilizacja, wiązanie wody) i sensorycznych (smak, zapach) w końcowych produktach spożywczych. Za wyjątkiem dekstranu, EPS pochodzące z bakterii kwasu mlekowego nie były dotychczas komercyjnie wykorzystywane jako dodatki do żywności ze względu na ich stosunkowo niską wydajność [21]. Niemniej jednak Sasikumar i wsp. [38] wykazali, że EPS pozyskany ze szczepu *L. plantarum* RB2 przejawia właściwości przeciwutleniające, zapobiegające cukrzycy czy obniżające poziom cholesterolu, a poza tym jest nietoksyczny dla komórek organizmu. Ale i wsp. [1] stwierdzili z kolei, że EPS wyizolowany ze szczepu *L. fermentum* Lf2 może być stosowany jako składnik żywności funkcjonalnej ze względu na jego korzystne probiotyczne działanie na organizm człowieka. Pod względem technologicznym obecność EPS wpływa na wiele właściwości produktów mlecznych, w tym jogurtów, kefirów, śmietany oraz serów, wykazując zdolność do zagęszczania, emulgacji i żelowania, a więc użycie EPS może być alternatywą dla stosowania środków zagęszczających. Z kolei duża zdolność zatrzymywania wody przez EPS ma pozytywny wpływ na zwiększenie lepkości i poprawę tekstury serów, zwłaszcza tych o obniżonej zawartości tłuszczu [5].

Zastosowanie wybranych bakterii kwasu mlekowego jako starterów piekarniczych do wypieku chleba stanowi alternatywę dla tradycyjnego chleba pszennego ze względu na wytwarzanie przez nie znacznych ilości fitaz. Dzięki zastosowaniu postbiotyków (oczyszczonych enzymów fitaz), w trakcie fermentacji ciasta możliwa jest defosforylacja kwasu fitynowego, uważanego za składnik przeciwodżywczy. Duże nadzieje wiąże się także z wprowadzaniem enzymów fosforolitycznych na etapie wypieku pieczywa. Palacios i wsp. [31] zaobserwowali, że zastosowanie fitaz zwiększa biodostępność wybranych składników odżywczych i związków mineralnych, a technologicznie – wpływa na poprawę tekstury finalnego produktu. Duliński i wsp. [13] udowodnili natomiast, że odpowiednia kombinacja preparatów fitazy jako dodatków do ciasta żytniego powoduje 97-procentową redukcję poziomu kwasu fitynowego, co może być bardzo efektywnym rozwiązaniem.

Postbiotyki mogą być przydatne jako wolne od drobnoustrojów suplementy diety, fermentowana żywność funkcjonalna i leki stosowane w profilaktyce oraz uzupełniające leczenie wielu chorób, a także dodatki do żywności. Badania postbiotyków stanowią nie tylko podstawę zrozumienia mechanizmów ich działania, ale także opracowania nowych strategii terapeutycznych w celu poprawy zdrowia. Z drugiej strony stopniowo

następuje rozwój nowoczesnych technik manipulacji genetycznej, co stwarza możliwości rozwoju nowych bioinżynieryjnych szczepów probiotycznych zdolnych do wytwarzania metabolitów ukierunkowanych na zapobieganie i leczenie wielu chorób.

Nadal jednak potrzebne są dogłębne badania związane z aspektami bezpieczeństwa i postanowienia dotyczące regulacji prawnych. Ponadto istotne jest przyjęcie wspólnej definicji postbiotyków, co z pewnością ułatwi ich identyfikację, badania, produkcję, wprowadzanie do obrotu czy kontrolę jakości, ale także pośrednio może przyczynić się do zwiększenia zainteresowania postbiotykami przez producentów żywności i konsumentów [10].

Podsumowanie

Postbiotyki mogą przyczyniać się do poprawy zdrowia człowieka poprzez zapewnienie określonych efektów fizjologicznych, podobnie jak probiotyki. Dokładne mechanizmy działania postbiotyków nie zostały jednak w pełni wyjaśnione. Niewątpliwą zaletą stosowania postbiotyków jest ich bezpieczeństwo, łatwość dawkowania, a także stabilność podczas przechowywania. W pewnych okolicznościach, gdy probiotyki okazują się niemożliwe do stosowania, postbiotyki to jedyna bezpieczna alternatywa.

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania zastosowaniem postbiotyków w technologii żywności, przede wszystkim jako biokonserwantów (bakteriocyny), ale także innych dodatków funkcjonalnych (egzopolisacharydy, enzymy i inne). Pomimo wielu obiecujących danych wydaje się, że konieczne są dalsze badania w celu identyfikacji i zrozumienia mechanizmów działania postbiotyków, a także optymalizacji ich skuteczności. Potwierdzenia wymaga określenie skuteczności postbiotyków w działaniu polegającym na poprawie zdrowia człowieka. Związane jest to z przeprowadzeniem dużych, dobrze zaprojektowanych, randomizowanych, prowadzonych metodą podwójnej ślepej próby, kontrolowanych placebo badań klinicznych z udziałem ludzi, a także badań metabolomicznych.

Literatura

- [1] Ale E.C., Bourin M.J.B., Peralta G.H., Burns P.G., Ávila O.B., Contini L., Reinheimer J., Binetti A.G.: Functional properties of exopolysaccharide (EPS) extract from *Lactobacillus fermentum* Lf2 and its impact when combined with *Bifidobacterium animalis* INL1 in yoghurt. *Int. Dairy J.*, 2019, 96, 114-125.
- [2] Aguilar-Toalá J.E., García-Varela R., García H.S., Mata-Haro V., González-Córdova A.F., Vallejo-Cordoba B., Hernández-Mendoza A.: Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends Food Sci. Technol.*, 2018, 75, 105-114.
- [3] Amaretti A., di Nunzio M., Pompei A., Raimondi S., Rossi M., Bordoni A.: Antioxidant properties of potentially probiotic bacteria: *In vitro* and *in vivo* activities. *Appl. Microbiol.*, 2013, 97 (2), 809-817.
- [4] Back S.-Y., Jin H.-H., Lee S.-Y.: Inhibitory effect of organic acids against *Enterobacter sakazakii* in laboratory media and liquid foods. *Food Control*, 2009, 20, 867-872.

- [5] Berthold-Pluta A., Pluta A., Garbowska M., Stasiak-Róžańska L.: Exopolysaccharide-producing lactic acid bacteria – health-promoting properties and application in the dairy industry. *Post. Mikrobiol.*, 2019, 58 (2), 191-204.
- [6] Canonici A., Siret C., Pellegrino E., Pontier-Bres R., Pouyet L., Montero M.P., Colin C., Czerucka D., Rigot V., André F.: *Saccharomyces boulardii* improves intestinal cell restitution through activation of the $\alpha 2\beta 1$ integrin collagen receptor. *PLoS One*, 2011, 6 (3), #e18427.
- [7] Chen H., Hoover D.G.: Bacteriocins and their food applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2003, 2, 82-100.
- [8] Chi E., Dao D., Lau T.C., Henriksbo B.D., Cavallari J.F., Scjhzertzer J.: Bacterial peptidoglycan stimulates adipocyte lipolysis via NOD1. *PLoS One*, 2014, 9, #e97675.
- [9] Cicienia A., Santangelo F., Gambardella L., Pallotta L., Iebba V., Scirocco A., Marignani M., Tellan G., Carabotti M., Corazziari E.S., Schippa S., Severi C.: Protective role of postbiotic mediators secreted by *Lactobacillus rhamnosus* GG versus lipopolysaccharide-induced damage in human colonic smooth muscle cells. *J. Clin. Gastroenterol.*, 2016, 50, 140-144.
- [10] Collado M.C., Vinderola G., Salminen S.: Postbiotics: Facts and open questions. A position paper on the need for a consensus definition. *Benef. Microbes*, 2019, 10, 1-10.
- [11] DeGruttola A.K., Low D., Mizoguchi A., Mizoguchi E.: Current understanding of dysbiosis in disease in human and animal models. *Inflamm. Bowel Dis.*, 2016, 22 (5), 1137-1150.
- [12] Del Carmen Beristain-Bauza S., Mani-López E., Palou E., López-Malo A.: Antimicrobial activity of whey protein films supplemented with *Lactobacillus sakei* cell-free supernatant on fresh beef. *Food Microbiol.*, 2017, 62, 207-211.
- [13] Duliński R., Żyła K.: Wpływ egzogennych preparatów fitaz na zawartość fosforanów inozytolu w cieście i pieczywie żytnim. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2009, 2 (63), 53-66.
- [14] Escamilla J., Lane M.A., Maitin V.: Cell-free supernatants from probiotic *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus rhamnosus* GG decrease colon cancer cell invasion in vitro. *Nutr. Cancer*, 2012, 64 (6), 871-878.
- [15] Gabriele H.: Requirements for a successful future of probiotics. In: *Advances in Probiotic Technology*. Eds. P. Foerst, C. Santivarangkna. CRC Press, Boca Raton 2016, pp. 139-145.
- [16] Gao J., Li Y., Wan Y., Hu T., Liu L., Yang S., Gong Z., Zeng Q., Wei Y., Yang W., Zeng Z., He X., Huang S.H., Cao H.: A novel postbiotic from *Lactobacillus rhamnosus* GG with a beneficial effect on intestinal barrier function. *Front. Microbiol.*, 2019, 10, #477.
- [17] Imperial I.C.V.J., Ibana J.A.: Addressing the antibiotic resistance problem with probiotics: Reducing the risk of its double-edged sword effect. *Front. Microbiol.*, 2016, 7, #1983.
- [18] Kang J.H., Lee M.S.: Anti-*Helicobacter pylori* activity of *Pediococcus acidilactici* GMB7330 isolated from infant feces. *Korean J. Microbiol.*, 2005, 41, 152-156.
- [19] Kareem K.Y., Hooi Ling F., Teck Chwen L., May Foong O., Anjas Asmara S.: Inhibitory activity of postbiotic produced by strains of *Lactobacillus plantarum* using reconstituted media supplemented with inulin. *Gut Pathog.*, 2014, 6, #23.
- [20] Kerry R.G., Patra J.K., Gouda S., Park Y., Shin H.S., Das G.: Benefaction of probiotics for human health: A review. *J. Food Drug Anal.*, 2018, 26 (3), 927-939.
- [21] Lahti E., Johansson T., Honkanen-Buzalski T., Hill P., Nurmi E.: Survival and detection of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* during the manufacture of dry sausage using two different starter cultures. *Food Microbiol.*, 2001, 18 (1), 75-85.
- [22] Mariam S.H., Zegeye N., Tariku T., Andargie E., Endalafar N., Aseffa A.: Potential of cell-free supernatants from cultures of selected lactic acid bacteria and yeast obtained from local fermented foods as inhibitors of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp. and *Staphylococcus aureus*. *BMC Res. Notes.*, 2014, 7(1), #606.
- [23] Mulkyte K., Kasnauskyste N., Serniene L., Gözl G., Alter T., Kaskoniene V., Maruska A.S., Malakauskas M.: Characterization and application of newly isolated nisin producing *Lactococcus lactis* strains for control of *Listeria monocytogenes* growth in fresh cheese. *LWT Food Sci. Technol.*, 2018, 87, 507-514.

- [24] Nakamura F., Ishida Y., Sawada D., Ashida, N., Sugawara T., Sakai M., Fujiwara S.: Fragmented lactic acid bacteria cells activate peroxisome proliferator-activated receptors and ameliorate dyslipidemia in obese mice. *J. Agric. Food Chem.*, 2016, 64, 2549-2559.
- [25] Nissa A., Utami R., Sari A.M., Nursiwi A.: Combination effect of nisin and red ginger essential oil (*Zingiber officinale var. rubrum*) against food borne pathogens and food spoilage microorganisms. *AIP Conf. Proc.*, 2014, 1, #020023.
- [26] Nowak A., Śliżewska K., Libudzisz Z.: Probiotyki – historia i mechanizmy działania. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2010, 4 (71), 5-19.
- [27] Ogawa A., Kadooka Y., Kato K., Shirouchi B., Sato M.: *Lactobacillus gasseri* SBT2055 reduces postprandial and fasting serum non-esterified fatty acid levels in Japanese hypertriglycerolemic subjects. *Lipids Health Dis.*, 2014, 13, #36.
- [28] Oidak A., Zielińska D., Rzepkowska A., Kołożyn-Krajewska D.: Comparison of antibacterial activity of *Lactobacillus plantarum* strains isolated from two different kinds of regional cheeses from Poland: Oscypek and Koryciński cheese. *Biomed Res. Int.*, 2017, 2, 1-10.
- [29] Omarov T.R., Omarova L.A., Omarova V.A., Sarsenova S.V.: The chronic gastritis, the dysbacteriosis and the use of Hylak forte at the treatment. *Wiadomości Lek.*, 2014, 67, 365-367.
- [30] Oshima S., Hirano A., Kamikado H., Nishimura J., Kawai Y., Saito T.: Nisin A extends the shelf life of high-fat chilled dairy dessert, a milk-based pudding. *J. Appl. Microbiol.*, 2014, 116, 1218-1228.
- [31] Palacios M.C., Haros M., Sanz Y., Rosell M.: Selection of lactic acid bacteria with high phytate degrading activity for application in whole wheat breadmaking. *LWT. Food Sci. Technol.*, 2008, 41, 82-92.
- [32] Paul B., Barnes S., Demark-Wahnefried W., Morrow C., Salvador C., Skibola C., Tollefsbol T.O.: Influences of diet and the gut microbiome on epigenetic modulation in cancer and other diseases. *Clin. Epigenetics*, 2015, 7, #112.
- [33] Pessi T., Sütas Y., Saxelin M., Kallioinen H., Isolauri E.: Antiproliferative effects of homogenates derived from five strains of candidate probiotic bacteria. *Appl. Environ. Microb.*, 1999, 65, 4725-4728.
- [34] Phister T.G., O'Sullivan D.J., McKay L.L.: Identification of bacilysin, chlorotetaine, and iturin A produced by *Bacillus* sp. strain CS93 isolated from Pozol, a Mexican fermented maize dough. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2004, 70, 631-634.
- [35] Rather I.A., Seo B.J., Kumar V.J.R., Choi U.H., Lim J.H., Park Y.H.: Isolation and characterization of a proteinaceous antifungal compound from *Lactobacillus plantarum* YML007 and its application as a food preservative. *Lett. Appl. Microbiol.*, 2013, 57, 69-76.
- [36] Ribeiro S., Ross R., Stanton C., Silva C.: Characterization and application of antilisterial enterocins on model fresh cheese. *J. Food Protection*, 2017, 80 (8), 1303-1316.
- [37] Saide J.A., Gilliland S.E.: Antioxidative activity of *Lactobacilli* measured by oxygen radical absorbance capacity. *Int. J. Dairy Sci.*, 2005, 88 (4), 1352-1257.
- [38] Sasikumar K., Vaikkath D.K., Devendra L., Nampoothiri K.M.: An exopolysaccharide (EPS) from a *Lactobacillus plantarum* BR2 with potential benefits for making functional foods. *Bioresour. Technol.*, 2017, 241, 1152-1156.
- [39] Sheflin A.M., Whitney A.K., Weir T.L.: Cancer – promoting effects of microbial dysbiosis. *Curr. Oncol. Rep.*, 2014, 16 (10), #406.
- [40] Shigwedha N., Sichel L., Jia L., Zhang L.: Probiotic cell fragments (PCFs) as “novel nutraceutical ingredients”. *J. Biosciences*, 2014, 2, 43-55.
- [41] Shimamura S., Abe F., Ishibashi N., Miyakawa H., Yaeshima T., Araya T., Tomita M.: Relationship between oxygen sensitivity and oxygen metabolism of *Bifidobacterium* species. *Int. J. Dairy Sci.*, 1992, 75, 3296-3306.
- [42] Sütas Y., Soppi E., Korhonen H., Syväoja E.L., Saxelin M., Rokka T., Isolauri E.: Suppression of lymphocyte proliferation *in vitro* by bovine caseins hydrolysed with *Lactobacillus* GG-derived enzymes. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 1996, 98, 216-24.
- [43] Timko J.: Probiotics as prevention of radiation-induced diarrhea. *J. Radiother. Pract.*, 2010, 9 (4), 201-208.

- [44] Tiptiri-Kourpeti A., Spyridopoulou K., Santarmaki V., Aindelis G., Tompoulidou E., Lamprianidou E.E., Chlichlia K.: *Lactobacillus casei* exerts anti-proliferative effects accompanied by apoptotic cell death and up-regulation of TRAIL in colon carcinoma cells. PLoS One, 2016, 11 (2), #e0147960.
- [45] Tomasik P.: Probiotics, non-dairy prebiotics and postbiotics in nutrition. Appl. Sci., 2020, 10 (4), #1470.
- [46] Tran H., Bac L.G., Nguyen D.C., Le T., Pham K., Nguyen D.H., Hoang Thi T.T.: Evaluation of factors affecting antimicrobial activity of bacteriocin from *Lactobacillus plantarum* microencapsulated in alginate-gelatin capsules and its application on pork meat as a bio-preservative. Int. J. Environ. Res. Public Health, 2019, 16 (6), #1017.
- [47] Tsilingiri K., Rescigno M.: Postbiotics: What else? Benef. Microbes, 2012, 4 (1), 101-107.
- [48] Urbonaviciene D., Viskelis P., Bartkiene E., Juodeikiene G., Vidmantiene D.: The use of Lactic Acid Bacteria in the fermentation of fruits and vegetables – technological and functional properties. Bio-technol., 2015, 7, 135-164.
- [49] Venema K.: Foreword. Benef. Microbes, 2013, 4 (1), 1-2.
- [50] Vijayakumar P., Muriana P.: Inhibition of *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat meats using bacteriocin mixtures based on mode-of-action. Foods, 2017, 6 (3), #22.
- [51] Walczycka M.: Metody inaktywacji i hamowania wzrostu *Listeria monocytogenes* w przetworach mięsnych. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2005, 2 (43), 61-72.
- [52] Wegh C.A.M., Geerlings S.Y., Knol J., Roeselers G., Belzer C.: Postbiotics and their potential applications in early life nutrition and beyond. Int. J. Mol. Sci., 2019, 20 (19), #4673.
- [53] West R., Roberts E., Sichel L.S., Sichel J.: Improvements in gastrointestinal symptoms among children with autism spectrum disorder receiving the Delpro Probiotic and immunomodulator formulation. J. Prob. Health, 2013, 1 (102), #2.

POSTBIOTICS – PROPERTIES, APPLICATION AND IMPACT ON HUMAN HEALTH

S u m m a r y

Eating food is a basic human physiological need necessary for survival. The microbiome inhabiting the human digestive tract includes bacteria, and some of them referred to as probiotic have a positive effect on human health. Some of their beneficial properties can be attributed to the characteristic metabolites of the microbiome, called postbiotics – a component of the cell walls of specific probiotic strains or lysates released as a result of the breakdown of bacterial cells. The manner and effects of postbiotics on human health have not yet been fully understood. Nevertheless, there are more and more studies that indicate their action to reduce inflammation and oxidative stress, eliminate the presence of harmful pathogens and stimulate the human immune system. In addition postbiotics can be used in food technology as preservatives, texture enhancers or functional additives. The undoubted advantage of using postbiotics is their safety, ease of dosing and stability during storage. In this paper definitions of postbiotics, their functions and characteristics of postbiotic substances as food ingredients and their impact on body functions were discussed. Based on an in-depth analysis of the literature on the subject, it should be noted that despite the many promising data, it seems that further research is needed to identify and understand the mechanisms of action of postbiotics and to optimize their effectiveness. First of all, confirmation of the effectiveness of postbiotics in the action of improving human health requires confirmation.

Key words: postbiotics, properties, mechanisms of action, food 