



# Rola i znaczenie produktów fermentowanych w diecie

## Role and importance of fermented products in the diet

Kaja Katarzyna Karwowska<sup>1, A, D-F</sup>, Dominika Kaczmarczyk<sup>1, B-D</sup>

<sup>1</sup> Zakład Towaroznawstwa Żywności, Katedra Żywienia Klinicznego, Wydział Nauk o Zdrowiu z Instytutem Medycyny Morskiej i Tropikalnej, Gdański Uniwersytet Medyczny, Polska

A – Koncepcja i projekt badania, B – Gromadzenie i/lub zestawianie danych, C – Analiza i interpretacja danych, D – Napisanie artykułu, E – Krytyczne zrecenzowanie artykułu, F – Zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu

Karwowska KK, Kaczmarczyk D. Rola i znaczenie produktów fermentowanych w diecie. Med Og Nauk Zdr. 2023; 29(2): 79–88. doi: 10.26444/monz/166088

### ■ Streszczenie

**Wprowadzenie i cel pracy.** Proces fermentacji był stosowany już w czasach starożytnych jako sposób konserwacji żywności, poprawy jej bezpieczeństwa i tworzenia zróżnicowanych produktów o unikalnych właściwościach organoleptycznych. W ostatnich latach świadomość konsumentów na temat wpływu diety na zdrowie znacznie wzrosła. Przekłada się to na bardziej świadome wybory zakupowe, w tym dotyczące żywności fermentowanej, która wykazuje pewne korzyści zdrowotne. Celem pracy jest przedstawienie aktualnego stanu wiedzy na temat roli i znaczenia produktów fermentowanych w diecie człowieka.

**Metody przeglądu.** Niniejsza publikacja bazuje na przeglądzie literatury dostępnej w wyszukiwarce Google Scholar i PubMed z zastosowaniem słów kluczowych: „żywność fermentowana” oraz „mleczne napoje fermentowane”.

**Opis stanu wiedzy.** Do produkcji żywności fermentowanej wykorzystuje się szeroką gamę produktów pochodzenia zwierzęcego i roślinnego. Ze względu na rosnący dostęp do produktów fermentowanych, a tym samym zainteresowanie konsumentów, prowadzone są intensywne badania na asortymencie tego typu. Naukowcy wykazali, że w fermentowanych produktach warzywnych i owocowych, podobnie jak w produktach na bazie mleka, obecne są bakterie, które charakteryzują się dobrą przeżywalnością w warunkach przewodu pokarmowego, a ich spożywanie również pozytywnie wpływa na nasze zdrowie. Produkty fermentowane wykazują m.in. działanie przeciwnadciśnieniowe, antynowotworowe, antyoksydacyjne, antyzapalne, a także pozytywnie wpływają na funkcjonowanie układu pokarmowego.

**Podsumowanie.** Zainteresowanie konsumentów żywnością fermentowaną może wynikać w dużej mierze z sugerowanych korzyści zdrowotnych. Ważne jest, aby w codziennych posiłkach pojawiały się produkty fermentowane, które nie tylko wpłyną pozytywnie na nasze zdrowie, ale również urozmaicą codzienną dietę dzięki swoim unikatowym smakom.

### Słowa kluczowe

właściwości prozdrowotne, bakterie kwasu mlekowego, żywność fermentowana

### ■ Abstract

**Introduction and Objective.** The fermentation process has been used since ancient times as a method of preserving food, improving its safety and creating differentiated products with unique organoleptic properties. In recent years, consumer awareness of the impact of diet on health has significantly increased. This translates into more conscious shopping choices, including fermented foods that show some health benefits. The aim of the study is to present the current state of knowledge about the role and importance of fermented products in the human diet.

**Review methods.** This publication is based on a literature review available in the Google Scholar and PubMed search engines, using the key words: ‘fermented food’, ‘fermented milk drinks’.

**Brief description of the state of knowledge.** A wide variety of animal and vegetable products are used to produce fermented foods. Due to the growing access, and thus the interest of consumers, an intensive research is conducted on this type of assortment. Scientists have shown that in fermented vegetable and fruit products, as well as in milk-based products, bacteria are present that are characterized by good survival in the conditions of the gastrointestinal tract, and their consumption also has a positive effect on our health. Fermented products show, among others, antihypertensive, anticancer, antioxidant, anti-inflammatory effects, and also have a positive effect on the functioning of the digestive system.

**Summary.** Consumer interest in fermented foods may be largely driven by the suggested health benefits. Consumers can choose the product that best suits their preferences. It is important that fermented products appear in the daily diet, which will not only have a positive effect on our health, but also diversify the daily diet through their unique flavours.

### Key words

lactobacilli, health-promoting properties, fermented food

### WPROWADZENIE I CEL PRACY

W ostatnich latach świadomość konsumentów dotycząca wpływu diety na zdrowie znacznie wzrosła. Przekłada się to na bardziej świadome decyzje podejmowane w zakresie zakupu żywności, w tym żywności fermentowanej.

Adres do korespondencji: Kaja Katarzyna Karwowska, Zakład Towaroznawstwa Żywności, Katedra Żywienia Klinicznego, Wydział Nauk o Zdrowiu z Instytutem Medycyny Morskiej i Tropikalnej, Gdański Uniwersytet Medyczny, ul. M. Skłodowskiej-Curie 3A, 80-210 Gdańsk, Polska

E-mail: kajakarwowska@gumed.edu.pl

Nadesłano: 14.01.2023; zaakceptowano do publikacji: 11.05.2023; publikacja online: 31.05.2023

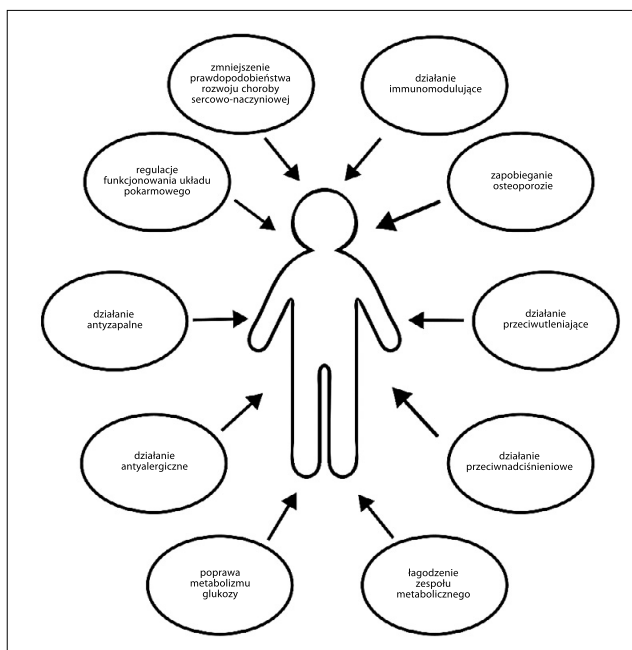
Proces fermentacji był stosowany już w czasach starożytnych jako sposób konserwacji żywności, poprawy jej bezpieczeństwa (zwłaszcza w odniesieniu do napojów) i tworzenia zróżnicowanych produktów o unikalnych właściwościach organoleptycznych [1, 2]. Intensywne prace naukowe nad zrozumieniem mikrobiologii oraz biotechnologii fermentacyjnej miały miejsce dopiero w XIX w. Francuski chemik i mikrobiolog Louis Pasteur opisał proces fermentacji jako proces biochemiczny, w którym większość mikroorganizmów rozkłada węglowodany w celu wytworzenia energii, a cały proces odbywa się w warunkach beztlenowych [3]. Procesy fermentacyjne są różnorodne i skomplikowane. Mogą one zostać zainicjowane w sposób naturalny (spontaniczny) lub poprzez dodanie kultur starterowych. Ze względu na warunki środowiskowe skład produktu (składniki odżywcze) oraz obecne mikroorganizmy wyróżnia się m.in. fermentację mlekową, masłową, octową czy propionową. Ze względu na złożoność tych procesów oraz duże zróżnicowanie obecnych na rynku fermentowanych produktów żywnościowych Międzynarodowe Stowarzyszenie Naukowe ds. Probiotyków i Prebiotyków (ang. International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics – ISAPP) definiuje fermentowaną żywność i napoje jako produkty uzyskane w wyniku pożądanego wzrostu drobnoustrojów i enzymatycznej konwersji składników żywności. Takie ujęcie jest szersze od tradycyjnego podejścia biochemicznego i dopuszcza zarówno warunki tlenowe, jak i beztlenowe dla reakcji zachodzących przy obecności bakterii, drożdży i grzybów [2–4].

Fermentacja jest naturalnym procesem, w którym mikroorganizmy przekształcają węglowodany w alkohol, dwutlenek węgla i/lub kwasy organiczne w celu uzyskania energii. Produkty te oraz związany z nimi wzrost kwasowości nadają produktom fermentowanym charakterystyczną cierpkość oraz działają jako konserwant (hamują rozwój innych mikroorganizmów). Proces fermentacji sprzyja także rozwojowi pożytecznych bakterii, poprawia strawność białek, węglowodanów, a także zwiększa biodostępność witamin i składników mineralnych [1–3].

Do produkcji żywności fermentowanej wykorzystuje się szeroką gamę surowców pochodzenia zwierzęcego i roślinnego. W zależności od użytych produktów można zatem wyróżnić napoje i produkty fermentowane mleczne, zbożowe, warzywne i owocowe, sojowe, mięsne i rybne (tab. 1).

Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – PZH w ostatniej wersji piramidy zdrowego żywienia i aktywności fizycznej dla osób dorosłych (z roku 2016) zaleca, aby codziennie spożywać co najmniej 2 szklanki mleka. Można je zastąpić jogurtem, kefirem oraz, częściowo, serem. Z kolei zalecenia opublikowane w 2020 roku w postaci talerza zawierają dodatkową informację, aby produkty mleczne pełnotłuste zamieniać na niskotłuszczowe oraz częściej spożywać produkty mleczne niskotłuszczowe, zwłaszcza fermentowane [9, 10].

Celem pracy jest przedstawienie aktualnego stanu wiedzy na temat znaczenia produktów fermentowanych w diecie człowieka. Asortyment produktów fermentowanych jest bardzo szeroki. Z tego względu największy nacisk w pracy położono na fermentowane produkty mleczne, które są spożywane w Polsce najczęściej. Dodatkowo ze względu na wielokierunkowy wpływ spożywania produktów fermentowanych na organizm (rys. 1) w pracy przedstawiono jedynie kilka wybranych właściwości produktów tego rodzaju.



**Rysunek 1.** Wpływ spożywania produktów fermentowanych na organizm (wybrane aspekty).

Źródło: opracowanie własne na podstawie [11–13]

## METODY PRZEGLĄDU

Niniejsza publikacja bazuje na przeglądzie literatury dostępnej w wyszukiwarce Google Scholar (GS) i PubMed (PM). Użyto następujących słów kluczowych: „żywność fermentowana” (GS – 821, PM – 8 472), „mleczne napoje fermentowane” (GS – 600, PM – 97). Z analizy wyłączono prace opublikowane przed 2016 r. Do przeglądu włączono jedynie pełne prace oryginalne oraz poglądowe, w języku polskim oraz angielskim. Jednak w przypadku kilku starszych prac badawczych zrobiono wyjątek, ze względu na brak podobnych badań wykonanych w ostatnich latach.

## AKTUALNY STAN WIEDZY

Aktywność metaboliczna i enzymatyczna mikroorganizmów, zachodząca w surowcu, zmienia jego właściwości odżywcze oraz bioaktywne matryc żywnościowych, a także może wytwarzać cząsteczki o potencjalnym działaniu prozdrowotnym. Pozytywne właściwości zdrowotne sfermentowanej żywności przypisuje się związkom bioaktywnym, które powstają w wyniku procesu fermentacji. Należą do nich m.in. ACE (ang. *angiotensyn converting enzyme*; enzym konwertujący angiotensynę), kwas mlekowy,  $\beta$ -kazomorfiny, fosfopetydy kazeiny znajdujące się w fermentowanym nabiale, kefiran występujący w kefirze, GABA (ang. *gamma-aminobutyric acid*; kwas  $\gamma$ -aminomasłowy), SCFA (ang. *short-chain fatty acids*; krótkołańcuchowe nasycone kwasy tłuszczowe) oraz fitoestrogen znajdujący się w sfermentowanej soi [11]. Bardzo ważną funkcję w żywności fermentowanej pełnią bakterie kwasu mlekowego. Należą one do grupy bakterii Gram-dodatnich o złożonych wymaganiach odżywczych, które uzależnione są od obecności węglowodanów ulegających fermentacji. LAB są grupą bakterii obejmującą wiele rodzajów, takich jak *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Pediococcus*,

**Tabela 1.** Przykłady produktów fermentowanych dostępnych na polskim rynku

Grupa produktów	Rodzaj produktu	Główny szczep	Główny składnik
Produkty i napoje fermentowane mleczne	Ayran	<i>Streptococcus salivarius</i> subsp. <i>thermophiles</i> , <i>Lactobacillus delbureckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>	mleko
	Jogurt	<i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>	mleko
	Kefir	<i>Lentilactobacillus kefir</i> , <i>Lactocaseibacillus paracasei</i> , <i>Lactobacillus parabuchneri</i> , <i>Lactocaseibacillus casei</i> , <i>Lactobacillus lactis</i> , <i>Acetobacter lovaniensis</i> , <i>Kluyveromyces lactis</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	mleko
	Kumys	<i>Lactobacillus</i> spp., <i>Kluyveromyces</i> spp., <i>Saccharomyces</i> spp.	mleko
	Maślanka	<i>Lactobacillus lactis</i> subsp. <i>cremoris</i> , <i>Lactobacillus diacetylactis</i>	mleko
	Mleko acidofilne	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	mleko
	Ser	<i>Lactococcus lactis</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactocaseibacillus paracasei</i>	mleko
	Produkty fermentowane roślinne (zbożowe i sojowe)	Chleb na zakwasie	<i>Lactobacillus sanfranciscensis</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Candida milleri</i>
Miso		<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Saccharomyces rouxii</i> , <i>Pediococcus halophilus</i>	soja
Natto		<i>Bacillus subtilis</i> var. <i>natto</i>	soja
Tempeh		<i>Rhizopus oligosporus</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i>	soja
Produkty fermentowane roślinne (warzywne i owocowe)	Kapusta kiszona	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	kapusta biała
	Kimchi	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Lactobacillus brevis</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus sakei</i>	warzywa
Napoje fermentowane bezalkoholowe i alkoholowe	Oliwki	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus pentosus</i> , <i>Lactocaseibacillus casei</i>	oliwki
	Boza	<i>L. coprophilus</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>Leu. reffinolactis</i> , <i>L. brevis</i> , <i>L. fermentum</i> , <i>Leu. mesenteroides</i>	zboża (żyto, proso, pszenica, kukurydza)
	Brandy	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	owoce
	Kombucha	<i>Gluconobacter</i> , <i>Acetobacter</i> , <i>Komagataeibacter</i>	herbata
	Piwo	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Lactobacillus brevis</i>	jęczmień, chmiel
	Sake	<i>Fructilactobacillus fructivorans</i> , <i>Lactobacillus homohiochi</i>	ryż
	Wino czerwone	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	winogrona
Produkty fermentowane mięsne i rybne	Chorizo	LAB, w zależności od pochodzenia (np. <i>Penicillium olsonii</i> , <i>Penicillium nalgiovense</i> , <i>Pediococcus</i> spp.)	wieprzowina
	Pepperoni	LAB, w zależności od pochodzenia (np. <i>Micrococcus</i> spp., <i>Pediococcus cerevisiae</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus brevis</i> )	mięso wieprzowo-wołowe
	Salami	LAB, w zależności od pochodzenia (np. <i>Pediococcus</i> spp.)	mięso ośle, obecnie również wieprzowina, wołowina

Źródło: opracowanie własne na podstawie [5–8]

*Enterococcus* czy *Streptococcus* [14]. Wyróżnia się bakterie homofermentatywne, które wytwarzają duże ilości kwasu mlekowego, oraz bakterie heterofermentatywne, które razem z kwasem mlekowym wytwarzają również kwas octowy, etanol i dwutlenek węgla. LAB są odpowiedzialne za duże zróżnicowanie smaku i konsystencji fermentowanej żywności [15].

Zdecydowana większość mikroorganizmów w produktach fermentowanych to bakterie kwasu mlekowego. Ze względu na produkcję biologicznie aktywnych peptydów i bioamin, LAB mają potencjalnie korzystne właściwości dla zdrowia w aspekcie metabolicznym, sercowo-naczyniowym i odpornościowym. Bakterie obecne w sfermentowanej żywności konkurują z patogenami o miejsce przylegania na powierzchni nabłonka jelitowego i wytwarzają metabolity, które hamują wzrost patogenów. Fermentacja zmniejsza zawartość antyodżywczych składników, takich jak kwas fitynowy w produktach sojowych, który tworzy sole, utrudniając wchłanianie

składników mineralnych. Aktywność mikroorganizmów zmniejsza również zawartość FODMAP (ang. *fermentable oligosaccharides, disaccharides, monosaccharides and polyols*; fermentujące oligo-, di- i monosacharydy oraz poliole w produktach), co pozwala na spożywanie tych produktów przez osoby z zaburzeniami czynnościowymi jelit [1, 12–14].

LAB mogą wytwarzać egzopolisacharydy (EPS) – długie polimery cukrowe zbudowane z powtarzających się jednostek mono- lub oligosacharydów. EPS można podzielić na dwie kategorie – w zależności od zawartości cukrów w łańcuchu głównym: heteropolisacharydy oraz homopolisacharydy. Heteropolisacharydy wiążą się z efektem antyoksydacyjnym lub immunomodulacyjnym, natomiast homopolisacharydy wiążą się z właściwościami prebiotycznymi. Efekt prebiotyczny wywołany przez EPS bakterii kwasu mlekowego jest przedmiotem szczególnego zainteresowania ze względu na produkcję SCFA (ang. *short-chain fatty acids*; krótkołańcuchowe

nasycone kwasy tłuszczowe), gazów i kwasów organicznych, które biorą udział w hamowaniu rozwoju szkodliwych bakterii oraz poprawie metabolizmu gospodarza. EPS okazały się bardziej skuteczne w zwiększaniu ilości *Bifidobacteriaceae* w świetle jelita w porównaniu z inuliną, najczęściej stosowanym bifidogennym oligosacharydem. Jednocześnie wykazano działanie antagonistyczne LAB w stosunku do *Bacteroides* i *Clostridia* [12, 16].

### Działanie prozdrowotne produktów fermentowanych mlecznych

Mikrobiologiczne kultury starterowe mają wpływ na teksturę, smak mleka fermentowanego oraz odgrywają kluczową rolę w tworzeniu składników bioaktywnych, które nadają surowcowi potencjał przeciwutleniający, przeciwnadciśnieniowy, przeciwcukrzycowy i antyalergiczny [11, 13, 17]. Proteoliza zachodząca w fermentowanym mleku powoduje zwiększenie ilości peptydów i aminokwasów, zwłaszcza cystyny, histydyny i asparaginy. Chociaż poziom witamin termostabilnych, niacyny i kwasu pantotenowego nie ulega zmniejszeniu na skutek pasteryzacji mleka, niektóre LAB mogą resyntetyzować foliany, które są niszczone przez wysoką temperaturę. Dwa główne efekty zdrowotne wynikające ze spożywania fermentowanego mleka, zwłaszcza z dodatkiem organizmów probiotycznych, to działanie immunologiczne i metaboliczne. Mleko fermentowane uzupełnione w bakterie probiotyczne może poprawić stan zdrowia jelit, odporność humoralną i komórkową oraz zwiększyć poziom przeciwciał w ślinie i kale [11, 18].

Mleczne produkty fermentowane (jogurt, kefir), dzięki obecności żywych kultur bakterii, poprawiają trawienie laktozy i zmniejszają objawy nietolerancji tego cukru u osób z zaburzeniami jego trawienia. Potwierdzali to sami pacjenci, a także zaobserwowane mniejsze ilości wodoru w wydychanym powietrzu u osób spożywających mleczne produkty fermentowane. W treści jelitowej badanych osób zidentyfikowano obecność aktywnej  $\beta$ -galaktozydazy [18–20].

Bakterie probiotyczne, występujące w jogurtach i innych fermentowanych produktach mlecznych, mogą korzystnie zmieniać populację mikrobioty jelitowej gospodarza. Spożywanie tych produktów dostarcza duże ilości bakterii kwasu mlekowego, które zmieniają środowisko jelitowe, powodując zmniejszenie produkcji lipopolisacharydów i zwiększenie szczelności połączeń między komórkami nabłonka jelitowego [21].

Co więcej, spożywanie fermentowanych produktów mlecznych wykazuje pozytywny wpływ na parametry składu ciała, m.in. zwiększoną utratę masy ciała u osób z lekką nadwagą (w połączeniu z odpowiednią interwencją dietetyczną). Najistotniejszy może być wpływ produktów mlecznych na zmniejszenie ilości trzewnej tkanki tłuszczowej. Naukowcy sugerują, że największy wpływ może mieć w tym przypadku *Bifidobacterium animalis* subsp *lactis* oraz *Lactobacillus gasseri* [11, 20].

### Działanie przeciwnadciśnieniowe produktów fermentowanych mlecznych

W badaniach interwencyjnych wykazano, że mleko fermentowane może mieć działanie obniżające ciśnienie krwi. Może to wynikać ze znacznej liczby białek dostępnych w substratach do powielania komórkowego. W wyniku zakwaszenia i aktywności enzymów mikrobiologicznych białka ulegają denaturacji i tracą swoją pierwotną konformację. Uwalniane

sekwencje małych peptydów badane są pod kątem ich potencjalnego działania przeciwnadciśnieniowego. Sugeruje się, że spożywanie fermentowanych produktów mlecznych może być niefarmakologicznym sposobem kontroli nadciśnienia [22, 23]. Jedną z najczęściej badanych grup bioaktywnych peptydów są inhibitory enzymu konwertującego angiotensynę-1 (ACEI, ang. *angiotensin converting enzyme inhibitors*) [11, 13]. ACE (ang. *angiotensin converting enzyme*; enzym konwertujący angiotensynę) może katalizować przemianę decapeptydu angiotensyny I w silny czynnik zwężający naczynia krwionośne – angiotensynę II. Enzym ten hydrolizuje bradykininę – czynnik rozszerzający naczynia krwionośne – i stymuluje uwalnianie aldosteronu, który powoduje wężenie naczyń krwionośnych i retencję płynów, co zwiększa ciśnienie krwi. Potencjał przeciwnadciśnieniowy związany jest z hamowaniem ACE. Wyniki badań przeprowadzonych na szczurach z nadciśnieniem samoistnym oraz osobach z nadciśnieniem wykazały, że inhibitory ACE bez skutków ubocznych można uzyskać z białka pokarmowego [24]. Inhibicja ACE ma miejsce, gdy ACEI jest przeciw przez C-kończową sekwencję inhibitorów ACE. W ten sposób ACE nie może przekształcić angiotensyny I w angiotensynę II [12, 25, 26]. Peptydy hamujące ACE zostały zidentyfikowane w mleku fermentowanym przy użyciu szczepu *Lactococcus lactis* NRRL B-50571, a ich działanie przeciwnadciśnieniowe badano u szczurów z nadciśnieniem samoistnym lub u osób z nadciśnieniem [13]. Badania przeprowadzone pod kątem oceny zdolności siedmiu szczepów LAB do uwalniania peptydów hamujących ACE (ang. *angiotensin converting enzyme*; enzym konwertujący angiotensynę) i syntezy GABA (ang. *gamma-aminobutyric acid*; kwas  $\gamma$ -aminomasłowy) pozwoliły stwierdzić, że mleko fermentowane z udziałem *Lactococcus lactis* DIBCA2 miało najwyższą aktywność hamującą ACE [27]. Wykazano również, że warunki fermentacji i aktywność proteolityczna *Lactococcus lactis* do produkcji hamujących ACE były zależne od szczepu. Ponadto mleko fermentowane z dodatkiem *Lactococcus lactis* NRRL-B50571 obniżało SBP (ang. *systolic blood pressure*; ciśnienie skurczowe) i DBP (ang. *diastolic blood pressure*; ciśnienie rozkurczowe) [28].

Badania wskazują na dwa główne tripeptydy jako nośniki efektu hipotensyjnego: VPP (ang. *Val-Pro-Pro*; walina, prolina, prolina) oraz IPP (ang. *Ile-Pro-Pro*; izoleucyna, prolina, prolina), które mają działanie hamujące enzym konwertujący angiotensynę I (ACE, ang. *angiotensin converting enzyme*) [12, 22]. Zasugerowano, aby te tripeptydy stanowiły strategię żywieniową w leczeniu umiarkowanego nadciśnienia tętniczego. Ocenie poddano przeciwnadciśnieniowe działanie mleka fermentowanego z *Lactococcus lactis* NRRL-B50571 u osób z nadciśnieniem tętniczym w randomizowanym, kontrolowanym badaniu klinicznym. Uzyskane wyniki badania wykazały obniżenie SBP o  $13 \pm 12,4$  mmHg i było istotnie różne ( $p < 0,05$ ) od grupy kontrolnej. Jednak odnotowano niewielkie obniżenie DBP [22]. Zasugerowano, że te tripeptydy również zmniejszają dysfunkcje tętnic, a tym samym zapobiegają chorobom sercowo-naczyniowym [29].

Spożywanie mlecznych produktów fermentowanych może mieć również pozytywny wpływ na układ krążenia. Naukowcy wykazali, że produkty te mogą wpływać na poprawę markerów związanych z funkcjonowaniem układu sercowo-naczyniowego, redukcję czynników ryzyka choroby niedokrwiennej serca (lipoproteiny o małej gęstości, cholesterolu, trójglicerydów i ciśnienia krwi) [11, 20].

Mleko fermentowane za pomocą *Streptococcus thermophilus* i *Enterococcus faecium* wpływa na obniżenie poziomu lipoprotein o małej gęstości (LDL, ang. *low-density lipoprotein*). Badania przeprowadzone w Danii na 58 mężczyznach wykazały poprawę tego wskaźnika o 10%. Spożywanie mlecznych produktów fermentowanych przez okres 6 tygodni poprawia wyniki cholesterolu całkowitego oraz LDL. Również u osób zdrowych (zarówno kobiet, jak i mężczyzn) spożywanie fermentowanego mleka przez okres 1 miesiąca istotnie wpłynęło na obniżenie poziomu cholesterolu całkowitego i LDL [20, 26]. Fermentacja niestrawnych węglowodanów pochodzących z żywności powoduje zwiększoną produkcję krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych, co obniża stężenie cholesterolu we krwi albo przez hamowanie syntezy w wątrobie, albo przez redystrybucję cholesterolu z osocza do wątroby. Ponadto efektem większej aktywności bakterii w jelicie grubym jest wzmożona synteza niezwiązanych kwasów żółciowych, które nie są dobrze wchłaniane przez błonę śluzową jelita, a tym samym wydalane. W konsekwencji cholesterol jest w większym stopniu wykorzystywany do syntezy kwasów żółciowych [23].

W badaniu przeprowadzonym z udziałem 20 mężczyzn z podwyższonym cholesterolem całkowitym stwierdzono, że spożywanie dwa razy dziennie 200 ml fermentowanego mleka (przez okres 8 tygodni) wpłynęło na wzrost lipoprotein o dużej gęstości (HDL, ang. *high-density lipoprotein*) [20].

Produkty zawierające *Lactobacillus casei* i *Lactococcus lactis* mogą zawierać 10–12 mg kwasu aminomasłowego (w 100 gramach produktu). Dzięki obecności tego kwasu u pacjentów z lekkim nadciśnieniem zaobserwowano znaczący spadek ciśnienia rozkurczowego i skurczowego. Podobny wpływ odnotowano w przypadku produktów zawierających bioaktywne peptydy, powstałe w trakcie fermentacji *Lactobacillus helveticus*. Spożycie jednej dodatkowej porcji jogurtu w ciągu tygodnia korelowało z 6% redukcją ryzyka wystąpienia incydentu nadciśnienia [20].

### Działanie antynowotworowe produktów fermentowanych mlecznych

Większość nowotworów powstaje w wyniku niezdrowej i nie zrównoważonej diety, dlatego badania nad czynnikami żywieniowymi są niezwykle ważne. Składniki kompleksu kefiru biorą udział w syntezie przeciwnowotworowych bioaktywnych związków, do których zalicza się peptydy, polisacharydy i sfingolipidy. Związki te odgrywają istotną rolę w różnych szlakach sygnałowych (komórkowych i molekularnych) i procesach biologicznych komórki. W związku z tym kefir może być skutecznym środkiem w zapobieganiu występowania nowotworów [30]. Przyjmowanie kefiru może zmniejszać wydzielanie TGF- $\alpha$  (ang. *transforming growth factor alpha*; transportujący czynnik wzrostu alfa), TGF- $\beta$  (ang. *transforming growth factor beta*; transportujący czynnik wzrostu beta) i BCL-2 (ang. *B-cell lymphoma 2*; heterogenna grupa białek uczestnicząca w kontroli apoptozy) oraz zwiększać wydzielanie BAX (białko X związane z BCL-2), prowadząc do indukcji apoptozy. Niskie wydzielanie TGF- $\alpha$  i TGF- $\beta$  indukuje efekt antyproliferacyjny w komórkach nowotworowych. Aktywne peptydy kefiru indukują apoptozę w wyniku działania ROS (ang. *reactive oxygen species*; reaktywne formy tlenu) i aktywują zależne od Ca/Mg endonukleazy do rozszczepiania DNA. Sfingomielin w kefirze zwiększają wydzielanie interferonu- $\beta$  oraz cytokiny antyproliferacyjnej [11, 30]. Co więcej, wysoki poziom

sprężonych izomerów kwasu linolowego oraz kwasu masłowego, palmitynowego, palmitooleinowego i oleinowego w kefirze może przyczyniać się do mniejszej mutagenności przez metanosulfonian metylu, azcydek sodu i alfatoksynę B1. Kefir chroni również przed uszkodzeniami spowodowanymi promieniowaniem [30].

Innym ważnym składnikiem odżywczym, który odgrywa rolę w działaniu przeciwnowotworowym, jest białko. Proteolityczne rozszczepienie białek mleka podczas fermentacji prowadzi do wytworzenia bioaktywnych peptydów, które mają działanie immunostymulujące. Efektem jest zapobieganie chorobom zakaźnym poprzez zwiększenie aktywności komórek produkujących immunoglobuliny A oraz makrofażów. Stwierdzono również, że LAB indukują odpowiedź immunologiczną, ponieważ zwiększają poziomy IgA, IgM i IgG zarówno w błonie śluzowej, jak i we krwi. Wytwarzają przeciwciała w organizmie i aktywują limfocyty B, makrofagi komórkowe i komórki NK (ang. *natural killer*; naturalnej cytotoxiczności) oraz stymulują produkcję cytokin, takich jak interferon (IFN) i interleukina (IL). Wykazano, że podawanie osobom cierpiącym na nowotwór mleka odtłuszczonego fermentowanego z dodatkiem *Lactocaseibacillus paracasei subsp. paracasei* NTU 101 równoległe z chemioterapią powodowało zahamowanie wzrostu guza i przerzutów. Badania potwierdzają pozytywne działanie sfermentowanych produktów mlecznych spożywanych w trakcie walki z nowotworami narządów układu pokarmowego (jelita grubego, okrężnicy, żołądka), a także piersi [11, 31]. Rak piersi jest jednym z najczęstszych nowotworów wśród kobiet, dlatego leczenie i profilaktyka są bardzo istotne. Przeprowadzono badania nad wpływem ekstraktów z kefiru na linie komórkowe MCF-7 (ang. *Michigan Cancer Foundation-7*) i linie komórkowe HMEC (ang. *Human Mammary Epithelial Cells*; ludzkie komórki nabłonkowe sutka). Wykazano, że kefir może obniżyć wzrost komórek MCF-7 w sposób zależny od dawki [32].

Korzystne działanie związków o charakterze przeciwnowotworowym jest często specyficzne dla gatunku lub nawet szczepu. Oznacza to, że szczep przeciwko jednemu rodzajowi nowotworu może nie wywierać korzystnego wpływu na inne jego rodzaje [33].

### Właściwości prozdrowotne produktów fermentowanych zbożowych i sojowych

Naturalna fermentacja zbóż prowadzi do obniżenia zawartości węglowodanów niestrawnych (oligo- i polisacharydów) oraz zwiększonej zawartości składników mineralnych (cynk, żelazo, magnez, wapń) i witamin (z grupy B) [32]. Zmiany te najprawdopodobniej związane są z degradacją szczawianów, fitynianów i garbników, które łączą się ze składnikami mineralnymi, zmniejszając w ten sposób ich biodostępność. Fermentacja zwiększa strawność białek roślinnych, ponieważ dochodzi do częściowego rozkładu złożonego białka zapasowego na formy bardziej rozpuszczalne. Niestety mikrobiota fermentująca może wykorzystywać aminokwasy i białka podczas fermentacji, co skutkuje stratami w zawartości aminokwasów i białek. Zboża fermentowane dostarczają również flawonoidów, związków fenolowych oraz innych fitozwiązków, które wykazują właściwości przeciwdziałające, obniżające poziom cholesterolu, zmniejszające produkcję cytokin zapalnych i komórek immunosupresyjnych [34]. Wykazano również, że fermentowane produkty zbożowe mogą wspomagać trawienie i wchłanianie pokarmu, przywracać równowagę mikrobioty jelitowej, poprawiać funkcjonowanie

przewodu pokarmowego człowieka oraz usprawniać perystaltykę jelit [35].

Fermentacja produktów zbożowych przyczynia się do zmniejszenia zawartości substancji antyodżywczych, takich jak fityniany. Bakterie kwasu mlekowego oraz endogenna mikrobiota są źródłem fitazy, która uwalnia fosforany z fitynianów i hydrolizuje powstałe kompleksy, ułatwiając wchłanianie składników mineralnych [29, 36]. Proces zakwaszenia wykorzystywany w produkcji chleba na zakwasie wpływa pozytywnie na zawartość składników odżywczych. Proces ten może obniżyć zawartość oligosacharydów – fruktanów i rafinozy, dzięki czemu pieczywo na zakwasie może być lepiej tolerowane przez pacjentów z IBS (ang. *irritable bowel syndrome*; zespół jelita drażliwego) [2]. Proces fermentacji może poprawić jakość ziarna sojowego poprzez zwiększenie strawności, poprawę wartości odżywczych i zwiększenie zawartości izoflawonów. Wykazano, że fermentacja z udziałem różnych mikroorganizmów poprawia zdolność do wytwarzania przeciwutleniaczy, witaminy B2, witaminy B12 i GABA (ang. *gamma-aminobutyric acid*; kwas  $\gamma$ -aminomasłowy) [37]. W wyniku dekarboksylacji L-glutaminianu powstaje GABA, w czym pośredniczy bakteryjny enzym dekarboksylaza glutaminowa (GAD, ang. *glutamic acid decarboxylase*). GABA jest neuroprzekaznikiem o działaniu hamującym w układzie nerwowym i odgrywa istotną rolę w regulacji ciśnienia krwi, wpływa pozytywnie na koncentrację i pamięć. Stwierdzono, że nasiona jadalne (ciecierzyca, soczewica) i ich produkty są naturalnym źródłem GABA, a poddanie ich procesowi fermentacji może zwiększyć jego zawartość o ponad połowę [38].

Kwas ferulowy, będący silnym przeciwutleniaczem, jest najobficiej występującym kwasem fenolowym w otrębach ryżowych, a proces fermentacji zwiększa jego ilość. Spożywanie fermentowanych otrębów ryżowych może zapobiegać niektórym chorobom związanym ze stresem oksydacyjnym, takim jak choroby układu krążenia, upośledzony metabolizm glukozy, insulinooporność i choroby neurodegeneracyjne [29]. Jednym z najlepiej przeanalizowanych fermentowanych zbóż jest ryż brązowy. W procesie jego otrzymywania udział bierze pleśń *Aspergillus oryzae*. Sfermentowany ryż pomaga obniżyć poziom cholesterolu i chroni wątrobę przed wolnymi rodnikami wytwarzanymi przez akumulację miedzi. Wykazuje również właściwości chemoprewencyjne, przeciwnowotworowe, prebiotyczne oraz przeciwzapalne. Naukowcy sugerują, że produkt ten nosi znamiona żywności funkcjonalnej [29].

Tempeh, czyli tradycyjny sfermentowany produkt sojowy pochodzący z Indonezji, wykazuje korzystny wpływ na układ odpornościowy, ponieważ zwiększa wydzielanie immunoglobuliny A (IgA) w jelicie krętym i okrężnicy. Spożywanie tego produktu prowadzi do modulacji składu mikrobioty jelitowej, poprzez zwiększenie populacji *Akkermansia muciniphila* w przewodzie pokarmowym [5]. Natto, kolejny produkt bazujący na soi, otrzymywany jest w wyniku fermentacji surowca przy udziale *Bacillus subtilis natto*. Bakterie te prowadzą do powstania witaminy K2 i nattokinazy. Enzym ten wykazuje właściwości przeciwzakrzepowe i fibrynolityczne, dzięki czemu może odgrywać znaczącą rolę w profilaktyce chorób układu krążenia i nadciśnienia tętniczego [29]. Produkty sojowe wykazują działanie immuno- oraz neurostymulujące, a dzięki zawartości izoflawonów – również zdolność do regulacji poziomu glukozy we krwi. Regularne spożywanie fermentowanych produktów sojowych może zapobiegać,

a także hamować rozwój różnych rodzajów nowotworów (m.in. prostaty, piersi, okrężnicy, żołądka czy wątroby). Peptydy pochodzące z mleka sojowego mogą przyczyniać się do regulacji poziomu ciśnienia krwi [37].

### Działanie antyoksydacyjne i antyzapalne produktów fermentowanych

Działanie antyoksydacyjne jest kluczową właściwością żywności, ponieważ działa na organizm ochronnie, przeciwdziałając uszkodzeniom oksydacyjnym, które powiązane są z wieloma chorobami (np. choroby układu sercowo-naczyniowego, zaburzenia gospodarki węglowodanowej) [39]. Uszkodzenia oksydacyjne powodowane są przez wolne rodniki, które są produktami ubocznymi reakcji fizjologicznych. Organizm ludzki posiada systemy enzymatyczne (takie jak dysmutaza ponadtlenkowa, peroksydaza glutationowa, katalaza) oraz nieenzymatyczne (m.in. tokoferole, witaminę C, związki fenolowe), przeciwutleniające, chroniące przed uszkodzeniami oksydacyjnymi. Jednak czasami to nie wystarcza, a żywność fermentowana może wspomóc procesy ochronne organizmu [13].

Na aktywność przeciwutleniającą mleka mogą wpływać różne czynniki, takie jak pochodzenie mleka, zawartość tłuszczu w mleku i szczepy mikroorganizmów fermentacyjnych. Kazeina, laktoferyna oraz szczepy probiotyczne, takie jak *Lactobacillus casei* czy *acidophilus*, mogą wykazywać działanie antyoksydacyjne [19]. W wyniku proteolizy białek mleka, zwłaszcza  $\alpha$ -laktoalbuminy,  $\beta$ -laktoglobuliny i  $\alpha$ -kazeiny, zachodzącej w trakcie fermentacji, uwalniane są bioaktywne peptydy. Bioaktywne peptydy są aktywnymi fragmentami sekwencji w białku prekursorowym i mogą wykazywać potencjalne właściwości bioaktywne, gdy zostaną uwolnione z białka prekursorowego w wyniku proteolizy podczas starzenia i fermentacji [40]. Aktywność antyoksydacyjna mleka fermentowanego może być również zwiększona poprzez tworzenie się sprzężonego kwasu linolowego (CLA, ang. *conjugated linoleic acid*). CLA to jeden z głównych antyoksydantów w tłuszczu mleka, obok witamin A, B,  $\beta$ -karotenu i koenzymu-Q10 [13].

Immunomodulacyjne i przeciwzapalne działanie kefiru odbywa się za sprawą kilku mechanizmów. Bioaktywne peptydy zawarte w kefirze indukują aktywację makrofagów, fagocytozę i produkcję tlenku azotu (NO), wydzielanie TNF- $\alpha$  (ang. *tumor necrosis factor alpha*; czynnik martwicy guza) i cytokin takich jak IL-5, IL-6, IL-1 $\beta$ , IL-12 jest zwiększone, a wydzielanie IL-8 ulega zmniejszeniu. Wysoki poziom IL-5 i TNF- $\alpha$  będzie prowadzić do wysokiego poziomu wydzielania IgA. Zmniejszony poziom IL-8 może kontrolować odpowiedź zapalną poprzez hamowanie chemotaksji i aktywacji neutrofilów. Picie kefiru może zwiększać poziom peroksydazy glutationowej i obniżać poziom dialdehydu malonowego, zaangażowanego w kontrolę stresu oksydacyjnego. Kefir również może wiązać się z DPPH (2,2-difenylo-1-pikrylohydrozyl wykorzystany do monitorowania reakcji chemicznych z udziałem rodników) i rodnikiem ponadtlenkowym oraz hamować peroksydację kwasu linolowego [30].

Antyoksydacyjne działanie kimchi związane jest z surowcem użytym do wytworzenia produktu oraz komponentów biologicznych powstających w trakcie procesu fermentacji. Związkami o charakterze antyoksydacyjnym są karotenoidy, flawonoidy, polifenole, chlorofil oraz witaminy C i E [2]. Związki antyoksydacyjne zawarte w kimchi mogą usuwać wolne rodniki powstające w organizmie poprzez działanie

jako donory wodoru. Ocenie poddano aktywność antyoksydacyjną *Lactobacillus plantarum* KCTC 3099 wyizolowanego z kimchi poprzez pomiar odporności na aktywne formy tlenu. Nienaruszone komórki i bezkomórkowe ekstrakty tego szczepu wykazywały silną aktywność antyoksydacyjną w hamowaniu utleniania lipidów. Szczep KCTC 3099 mógł przetrwać nawet 8 h obecności H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> i rodnika hydroksylowego oraz w obecności anionu ponadtlenkowego wytworzonego przez parakwat [41].

Kimchi i jego składniki wykazują działanie przeciwzapalne poprzez hamowanie ekspresji COX-2 (ang. *cyclooxygenase-2*; cyklooksygenaza indukowana) i iNOS (ang. *inducible nitric oxide synthase*; indukowalna syntaza tlenu azotu) oraz aktywację szlaku NF-κB (ang. *nuclear factor kappa-light-chain-enhancer of activated B cells*; jądrowy czynnik transkrypcyjny). W badaniach na zwierzętach stwierdzono, że dichlorometanowe frakcje kimchi wykazują wysoką zdolność wychwytywania wolnych rodników i silne działanie przeciwutleniające przeciwko utlenianiu lipoprotein o niskiej gęstości (LDL, ang. *low-density lipoprotein*). *Lactobacillus paracasei* LS2, *Lactobacillus mesenteroides* oraz *Lactobacillus sakei*, szczepy wyizolowane z kimchi charakteryzowały się znacznym potencjałem w osłabianiu stanu zapalnego w mysim modelu zapalenia jelita grubego. Dochodziło bowiem do zmniejszenia produkcji cytokin, zmniejszonej aktywności mieloperoksydazy oraz spadku liczby makrofagów i neutrofilów w limfocytach blaszki właściwej. Poza tym podawanie żywych i inaktywowanych termicznie *Lactobacillus sakei* probio-65 łagodziło stany zapalne i zmiany skórne poprzez redukcję IgE w surowicy i/lub hamowanie cytokin związanych z Th2 (ang. *T helper 2*; limfocyty wspierające odpowiedź humoralną). Z kolei *Lactobacillus plantarum* K-1 może łagodzić stany zapalne i choroby alergiczne poprzez hamowanie TNF-α (ang. *tumor necrosis factor*; czynnik martwicy nowotworu) i ekspresję IL-4 oraz hamowanie aktywacji NF-κB (ang. *nuclear factor kappa-light-chain-enhancer of activated B cells*; jądrowy czynnik transkrypcyjny) [2, 42].

Działania antyoksydacyjne przypisuje się również fermentowanym produktom sojowym (takim jak tempe, natto, douchi, miso czy hawajjar). Wykazano, że soja i jej produkty są skuteczne w wymiataniu wolnych rodników oraz łagodzeniu stresu oksydacyjnego. Efekt ten wynika z obecności izoflawonów, czyli antyoksydantów. Naukowcy porównali zdolności antyoksydacyjne 28 różnych dostępnych produktów sojowych. Wyniki badań wykazały, że proces fermentacji soi poprawia całkowitą zawartość fenoli, flawonoidów oraz zwiększa profil antyoksydacyjny oraz powoduje zmiany w zawartości izoflawonów w produktach sojowych. Zmiany w zawartości izoflawonów mogą być związane z aktywnością β-glikozydazy [2, 37]. Genisteina, daidzeina oraz glicyteina to główne izoflawony licznie występujące w sfermentowanej soi, które wykazują znaczące właściwości przeciwzapalne. Izoflawony chronią przed alergicznymi reakcjami zapalnymi i modulują odpowiedzi immunologiczne poprzez hamowanie sygnalizacji IgE i tłumienie odpowiedzi Th2 (ang. *T helper 2*; limfocyty wspierające odpowiedź humoralną). Wzrost poziomu IgE i uwrażliwienia IgE na alergeny występuje w reakcjach alergicznych, takich jak astma. Leczenie szczurów z zaburzeniami pamięci mieszaniną różnych metabolitów pochodzących z soi fermentowanej za pomocą *Bacillus subtilis* (takich jak nattokinaza, daidzyna, genisteina, glicyteina) i menachinonu-7 (witamina K2)) wykazało działanie neuroprotektyjne, poprzez hamowanie zaburzeń

neurobehawioralnych i neurochemicznych. Działanie przeciwzapalne dwóch koreańskich produktów z fermentowanej soi (doenjang i cheonggukjang) badano na szczurach karmionych dużą ilością tłuszczu. Spożywanie tych produktów skutkowało działaniem przeciwzapalnym, wynikającym ze zmniejszenia produkcji wolnych rodników, tłumienia sygnalizacji NF-κB (ang. *nuclear factor kappa-light-chain-enhancer of activated B cells*; jądrowy czynnik transkrypcyjny) i hamowania ekspresji COX-2 (ang. *cyclooxygenase-2*; cyklooksygenaza indukowana) i iNOS (ang. *inducible nitric oxide synthase*; indukowalna syntaza tlenu azotu) [29, 42].

Metaanaliza przeprowadzona na 26 randomizowanych, kontrolowanych badaniach klinicznych, obejmujących 1461 dorosłych sprawdziła, czy żywność fermentowana ma znaczący wpływ na obniżenie poziomu biomarkerów stanu zapalnego w surowicy krwi, w tym interleukiny (IL)-6, białka C-reaktywnego (CRP, ang. *C-reactive protein*) i TNF-α (ang. *tumor necrosis factor alpha*; czynnik martwicy guza). Stwierdzono, że spożywanie żywności fermentowanej korzystnie wpływa na stężenie TNF-α w surowicy krwi, jednak nie ma znaczącego wpływu na stężenie CRP i IL-6 [43].

### Wpływ produktów fermentowanych na układ pokarmowy

Kefir jest produktem fermentowanym najczęściej badanym pod względem wpływu na zdrowie przewodu pokarmowego. W ostatnich badaniach przeprowadzonych z udziałem ludzi wykazano, że mleka fermentowane pomagają w leczeniu nieswoistego zapalenia jelit oraz choroby Leśniowskiego-Crohna. Spośród spożywanych tradycyjnych napojów kefir wykazał pozytywny wpływ na wzmacnianie integralności bariery jelitowej poprzez stymulowanie wzrostu pożytecznych bakterii i zwalczanie patogenów, eliminację stanów zapalnych i utrzymanie homeostazy [2, 36]. Stosowanie kultur starterowych jogurtu (mieszanina szczepów *Lactobacillus bulgaricus* 151 i *Streptococcus thermophilus* MK-10) wykazało złagodzenie objawów choroby związanej z zapaleniem okrężnicy. Poprawiła się obfitość i różnorodność mikrobioty, powodując mniejszą utratę masy ciała, a także mniejsze uszkodzenia jelit. Ponadto wykazano modulację odpowiedzi immunologicznej w kierunku zmniejszenia stanu zapalnego [36].

U osób z zespołem jelita drażliwego przeanalizowano mikroflorę jelitową przed i po spożyciu mleka fermentowanego przez okres 4 tygodni. Po dokonanej interwencji zaobserwowano spadek ilości *Bilophila wadsworthia* i jednocześnie wzrost zawartości bakterii wytwarzających maślany. Wzrost produkcji SCFA (ang. *short-chain fatty acids*; krótkołańcuchowe nasycone kwasy tłuszczowe) oraz liczebności *Lactobacillus* spp. przyczyniły się do poprawy samopoczucia, polegającej na zmniejszeniu poczucia dyskomfortu, zmniejszeniu bólu oraz częstotliwości wzdęć i zaburzeń trawiennych [20, 44].

Wykazano również, że mleczne produkty fermentowane mogą łagodzić zaparcia. Analizowano wpływ spożywania kefiru na funkcjonowanie układu pokarmowego u osób z czynnościowym zaparciem. Wyniki badań wykazały, że spożywanie 500 ml kefiru przez 4 tygodnie znacząco zwiększyło częstość oddawania stolca, zmniejszyło problemy jelitowe oraz skróciło czas pasażu jelitowego [38, 45]. Wykazano również, że kefir jest dobrze tolerowany przez osoby z zespołem złego wchłaniania laktozy, ponieważ produkt ten zawiera bakterie wykazujące ekspresję β-galaktozydazy. β-galaktozydaza

hydrolizuje laktozę, zmniejszając w ten sposób stężenie laktozy w kefirze. Kefir zawiera 60% więcej  $\beta$ -galaktozydazy niż zwykły jogurt. W kefirze wykazano o 30% mniej zawartości laktozy w porównaniu z niefermentowanym mlekiem. Zaobserwowano również, że u osób z zespołem złego wchłaniania laktozy kefir powoduje mniejsze nasilenie wzdęć niż mleko i jest równie dobrze tolerowany jak jogurt [2]. Badanie oceniające wpływ spożycia kefiru na mikrobiotę i parametry stanu zapalnego z udziałem pacjentów z nieswoistym zapaleniem jelit wykazało znaczący wzrost liczby bakterii *Lactobacillus* w próbkach stolca tych osób w porównaniu do grupy kontrolnej. U pacjentów z chorobą Leśniowskiego-Crohna zaobserwowano zmniejszenie szybkości sedymentacji erytrocytów, obniżenie poziomu białka C-reaktywnego, zmniejszenie wzdęć oraz wzrost poziomu hemoglobiny [36].

Mikrobiota jelitowa moduluje ekspresję wielu genów w przewodzie pokarmowym, w tym genów zaangażowanych w odporność, wchłanianie składników odżywczych, metabolizm energetyczny i funkcjonowanie bariery jelitowej. Istnieją dobrze udokumentowane efekty niekorzystnego wpływu nieprawidłowego żywienia na oś jelito-mózg. Posiadanie aktywnej i naturalnej różnorodności mikroorganizmów w jelitach może poprawić ogólny stan zdrowia. Wciąż prowadzone są badania nad interakcjami pomiędzy spożywaną żywnością fermentowaną a mikrobiotą jelitową [46].

Interakcja składników odżywczych z mikrobiotą jest zasadniczo tym, co decyduje o ogólnym stanie zdrowia. Spożywanie sfermentowanej żywności poprawia biodostępność i bio przyswajalność bioaktywnych składników żywności, dostarczając błonnika pokarmowego, niezbędnych mikroskładników odżywczych, takich jak pierwiastki śladowe, związki chemiczne znajdujące się w roślinach, a także enzymów, bakterii kwasu mlekowego i kwasów organicznych. Spożywanie probiotyków, również w postaci żywności fermentowanej, powoduje znaczną poprawę w zakresie równowagi przepuszczalności jelit i funkcji bariery jelitowej, co ma bezpośredni wpływ na zespół metaboliczny, miażdżycę, choroby zapalne jelit i raka jelita grubego, a także pośredni wpływ na depresję, gniew, lęk i poziom hormonów stresu [46]. Fermentowana żywność w sposób pośredni może wpływać na funkcjonowanie mózgu dzięki działaniu zawartych w niej drobnoustrojów i sposobom, w jaki ta żywność może wpływać na mikrobiotę jelitową. Może się to przejawiać behawioralnie jako zwiększona aktywność przeciwutleniająca i przeciwzapalna, zmniejszenie przepuszczalności bariery jelitowej i szkodliwego działania LPS (lipopolisacharyd), poprawa kontroli glikemii, pozytywny wpływ na stan odżywienia, bezpośrednia produkcja GABA (ang. *gamma-aminobutyric acid*; kwas  $\gamma$ -aminomasłowy) i innych bioaktywnych substancji chemicznych, a także lepsza komunikacja między jelitami a mózgiem za sprawą korzystnych zmian w samej mikrobiocie jelitowej [47].

Opisano także wpływ fermentatów produkowanych ze szczepu *Lactobacillus paracasei* CBA L74 na łagodzenie zaburzeń związanych z glutenem, takich jak wrażliwość na gluten i celiakia. Zaobserwowano, że kompozycje zawierające sam szczep, bezkomórkowe supernatanty, fermentanty lub metabolity hodowli w jakiś sposób blokują lub utrudniają glutenowi lub związanym z glutenem polipeptydom przejście przez błonę śluzową jelita. W ten sposób negatywny wpływ glutenu i polipeptydów związanych z glutenem na pacjentów z takimi zaburzeniami zostaje w pewnym stopniu złagodzony. Metabolity związane z fermentantami tego szczepu zmniejszały napływ peptydów gliadyny do ludzkich komórek nabłonka

jelitowego. Niestrawione peptydy gliadyny zwykle wywołują w błonie śluzowej jelita cienkiego w celiakii niewłaściwą wrodzoną i adaptacyjną odpowiedź immunologiczną, co prowadzi do objawów związanych z chorobami wywołanymi przez gluten [48]. Istnieją wstępne dowody na to, że kimchi może mieć wpływ na skład mikrobioty jelit. Badanie przeprowadzone na myszach z otyłością indukowaną dietą wykazało, że szczep *Lactobacillus plantarum* HAC01 wyizolowany z kimchi spowodował zwiększenie ilości bakterii *Adlercreutzia* i zmniejszenie proporcji *Bacteroides*, *Mucispirillum* i *Ruminococcus* w porównaniu z myszami kontrolnymi [2]. Badania kliniczne z randomizacją przeprowadzone nad sfermentowanym i świeżym (niesfermentowanym) kimchi u kobiet z otyłością wykazały u kobiet spożywających 180 g dziennie sfermentowanego kimchi spadek liczebności bakterii *Blautia* oraz wzrost liczebności *Prevotella* i *Bacteroides* w porównaniu z wartością wyjściową. Jednak w obu grupach odnotowano wzrost liczebności *Proteobacteria* i *Actinobacteria* [49].

Mikroorganizmy obecne w żywności fermentowanej stymulują namnażanie się bakterii komensalnych. Mikrobiota jelitowa zapewnia homeostazę w ekosystemie jelitowym poprzez wpływ na odpowiedź immunologiczną, dojrzewanie tkanki limfoidalnej związanej z jelitami (GALT, ang. *gut-associated lymphoid tissue*), wytwarzanie cytokin i przeciwciał, zwiększanie produkcji IgA, limfocytów B i peptydów antybakteryjnych [36]. *Lactobacillus* spp. odgrywają istotną rolę w zapobieganiu dysbiozie mikrobioty jelitowej poprzez niedopuszczanie do kolonizacji bakterii patogennych w błonie śluzowej jelita [6]. Oceniono wpływ podawania myszom fermentantu poddanego obróbce termicznej, składającego się z dwóch szczepów bakterii *Lactobacillus*, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu na zachowanie gospodarza i zmiany w jego mikrobiocie. Zaobserwowano, że myszy, którym podawano fermentant (ADR-159), wykazywały wyższy poziom towarzyszczości i miały obniżony podstawowy poziom kortykosteronu. Fermentant spowodował również niewielkie zmiany w mikrobiocie myszy [50].

Ze względu na dużą popularność produktów fermentowanych na bazie mleka oraz udowodnioną wysoką przeżywalność drobnoustrojów w układzie pokarmowym człowieka, zdecydowana większość badań jest prowadzona właśnie na tej grupie produktów. Jednak ze względu na rosnący dostęp, a tym samym zainteresowanie konsumentów produktami fermentowanymi na bazie warzyw i owoców, pochodzących z krajów azjatyckich oraz afrykańskich, prowadzone są badania na takich produktach. Naukowcy wykazali, że w tego rodzaju produktach obecne są bakterie, które charakteryzują się dobrą przeżywalnością w warunkach przewodu pokarmowego, adhezją do komórek Caco-2 (nabłonkowe komórki jelitowe) oraz aktywnością przeciwdrobnoustrojową [36]. Dowiedziono, że spożycie tempeh wywiera pozytywny wpływ na mikrobiotę, poprzez wzrost populacji pożytecznych bakterii *Bifidobacterium* i *Akkermansia muciniphila*. Kolejnym produktem fermentowanym z soi jest miso. Jest to tradycyjna japońska pasta wytwarzana ze sfermentowanej soi i dodatków, najczęściej ryżu lub jęczmienia, a także soli i drożdży. Wykazano, że białko miso może być pomocne w nieswoistym zapaleniu jelit wywołanym przez lipopolisacharyd (LPS). W dłuższej perspektywie miso można wykorzystywać nie tylko jako przyprawę/dodatek do potraw, ale także jako żywność funkcjonalną wspomagającą neutralizację LPS [36].



## PODSUMOWANIE

Produkty fermentowane pochodzenia roślinnego, jak i zwierzęcego cieszą się popularnością i regularne ich spożywanie może przynieść korzyści zdrowotne. Na całym świecie istnieje ogromny asortyment produktów fermentowanych, z których tylko nieliczne zostały omówione w powyższej pracy. Zainteresowanie konsumentów żywnością fermentowaną może wynikać w dużej mierze z sugerowanych korzyści zdrowotnych. Konsumenti mogą wybrać produkt, który najbardziej odpowiada ich preferencjom. Ważne jest, aby w codziennej diecie pojawiały się produkty fermentowane, które nie tylko wpłyną pozytywnie na nasze zdrowie, ale również urozmaicą codzienną dietę za sprawą swoich unikatowych smaków.

## WYKAZ SKRÓTÓW

**ACE** – enzym konwertujący angiotensyny  
**BCL-2** – heterogenna grupa białek uczestnicząca w kontroli apoptozy  
**BAX** – białko X związane z BCL-2  
**CRP** – białko C-reaktywne  
**DBP** – ciśnienie rozkurczowe  
**DPPH** – 2,2-difenyl-1-pikrylohydrazyl wykorzystany do monitorowania reakcji chemicznych z udziałem rodników  
**EPS** – egzopolisacharydy  
**FODMAP** – fermentujące oligo-, di- i monosacharydy oraz poliole w produktach  
**GABA** – kwas  $\gamma$ -aminomasłowy  
**GALT** – całość tkanki limfatycznej występującej w obrębie przewodu pokarmowego  
**HMECS** – ludzkie komórki nabłonkowe sutka  
**IBS** – zespół jelita drażliwego  
**IL** – interleukina  
**IPP** – tripeptyd (izoleucyna, prolina, prolina)  
**ISAPP** – Stowarzyszenie Naukowe ds. Probiotyków i Prebiotyków  
**LAB** – bakterie kwasu mlekowego  
**LPS** – lipopolisacharyd  
**MCF-7** – ludzka linia komórkowa raka piersi z receptorami estrogenowymi, progesteronowymi i glukokortykoidowymi  
**ROS** – reaktywne formy tlenu  
**SBP** – ciśnienie skurczowe  
**SCFA** – krótkołańcuchowe nasycone kwasy tłuszczowe  
**TGF- $\alpha$**  – transportujący czynnik wzrostu alfa  
**TGF- $\beta$**  – transportujący czynnik wzrostu beta  
**TNF- $\alpha$**  – czynnik martwicy guza  
**VPP** – tripeptyd (walina, prolina, prolina)

## PIŚMIENICTWO

- Leeuwendaal NK, Stanton C, O'Toole PW, et al. Fermented Foods, Health and the Gut Microbiome. *Nutrients* 2022;14:1527. <https://doi.org/10.3390/nu14071527>
- Dimidi E, Cox SR, Rossi M, et al. Fermented Foods: Definitions and Characteristics, Impact on the Gut Microbiota and Effects on Gastrointestinal Health and Disease. *Nutrients* 2019;11:1806. <https://doi.org/10.3390/nu11081806>
- Voidarou C, Antoniadou M, Rozos G, et al. Fermentative foods: Microbiology, biochemistry, potential human health benefits and public health issues. *Foods*. 2021;10(1):69. <https://doi.org/10.3390/foods10010069>
- Marco ML, Sanders ME, Gänzle M, et al. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on fermented foods. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*. 2021;18:196–208. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-00390-5>
- Cuamatzin-Garcia L, Rodriguez-Rugarca P, El-Kassis EG, et al. Traditional Fermented Foods and Beverages from around the World and Their Health Benefits. *Microorganisms* 2022;10(6):1151. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10061151>
- Rastogi YR, Thakur R, Thakur P, et al. Food fermentation – Significance to public health and sustainability challenges of modern diet and food systems. *Int J Food Microbiol*. 2022;371:109666. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109666>
- Sengun IY, Guney D. Probiotic Potential of Fermented Foods and Their Effects on Immune System. *Turk J Agric-Food Sci Technol*. 2021;9(10):1744–1750. <http://doi.org/10.24925/turjaf.v9i10.1744-1750.3880>
- Ashaolu TJ, Khalifa I, Mesak MA, et al. A comprehensive review of the role of microorganisms on texture change, flavor and biogenic amines formation in fermented meat with their action mechanisms and safety. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2021;1–18. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1929059>
- Jarosz M. Piramida Zdrowego Żywności i Aktywności Fizycznej dla osób dorosłych. Narodowe Centrum Edukacji Żywnościowej. <https://ncez.pzh.gov.pl/abc-zywnosci/zasady-zdrowego-zywnosci/piramida-zdrowego-zywnosci-i-aktywnosci-fizycznej-dla-osob-doroslych-2/> (access: 2023.04.21)
- Wolnicka K. Talerz zdrowego żywienia. Narodowe Centrum Edukacji Żywnościowej. <https://ncez.pzh.gov.pl/abc-zywnosci/talerz-zdrowego-zywnosci/> (access: 2023.04.21)
- Baruah R, Ray M, Halami PM. Preventive and therapeutic aspects of fermented foods. *J Appl Microbiol*. 2022;132:3476–89. <https://doi.org/10.1111/jam.15444>
- Castellone V, Bancalari E, Rubert J, et al. Eating fermented: Health benefits of LAB-fermented foods. *Foods*. 2021;10(11):2639. <https://doi.org/10.3390/foods10112639>
- Melini F, Melini V, Luziatelli F, et al. Health-Promoting Components in Fermented Foods: An Up-to-Date Systematic Review. *Nutrients*. 2019;11(5):1189. <https://doi.org/10.3390/nu11051189>
- Mathur H, Beresford TP, Cotter PD. Health Benefits of Lactic Acid Bacteria (LAB) Fermentates. *Nutrients*. 2020;12:1679. <https://doi.org/10.3390/nu12061679>
- Terefe NS, Augustin MA. Fermentation for tailoring the technological and health related functionality of food products. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2019;60(17):2887–2913. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1666250>
- Abarquero D, Renes E, Fresno JM, et al. Study of exopolysaccharides from lactic acid bacteria and their industrial applications: a review. *Int J Food Sci Technol*. 2021;57:16–26. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15227>
- Dębińska A, Sozańska B. Fermented Foods in Asthma and Respiratory Allergies – Chance or Failure? *Nutrients*. 2022;14:1420. <https://doi.org/10.3390/nu14071420>
- Chilton SN, Burton JP, Reid G, et al. Inclusion of Fermented Foods in Food Guides around the World. *Nutrients*. 2015;7(1):390–404. <https://doi.org/10.3390/nu7010390>
- Wajs J, Stobiecka M. Wpływ mleknych produktów fermentowanych na zdrowie człowieka. In: Nowak W, Szaloni K, editors. *Zdrowie i style życia. Determinanty długości życia*. Wrocław; 2020. p. 133–152. <https://doi.org/10.34616/23.20.114>
- Savaiano DA, Hutkins RW. Yogurt, cultured fermented milk, and health: a systematic review. *Nutr Rev*. 2021;79(5):599–614. <http://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa013>
- Yanni AE, Kartsioti K, Karathanos VT. The role of yoghurt consumption in the management of type II diabetes. *Food Funct*. 2020;11:10306–10316. <https://doi.org/10.1039/D0FO02297G>
- Beltrán-Barrientos LM, Hernández-Mendoza A, Torres-Llanez MJ, et al. Invited review: Fermented milk as antihypertensive functional food. *J Dairy Sci*. 2016;99:4099–4110. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10054>
- Fernandez MA, Picard-Deland E, Le Barz M, et al. Yogurt and Health. In: Frias J, Martinez-Villaluenga C, Penas E, editor. *Fermented Foods in Health and Disease Prevention*. London: Academic Press; 2017. p. 305–338.
- Rubak YT, Nuraida L, Iswanti D, et al. Angiotensin-I-Converting Enzyme Inhibitory Peptides in Goat Milk Fermented by Lactic Acid Bacteria Isolated from Fermented Food and Breast Milk. *Food Sci Anim Resour*. 2022;42(1):46–60. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2021.e55>
- Vieira CP, Rosario AILS, Lelis CA, et al. Bioactive Compounds from Kefir and Their Potential Benefits on Health: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Oxid Med Cell Longev*. 2021;9081738. <https://doi.org/10.1155/2021/9081738>

26. Kesenkas H, Gursoy O, Ozbas H. Kefir. In: Frias J, Martinez-Villaluenga C, Penas E, editor. *Fermented Foods in Health and Disease Prevention*. London: Academic Press; 2017. p. 338–361.
27. Nejadi F, Rizzello CG, di Cagno R, et al. Manufacture of a functional fermented milk enriched of Angiotensin-I Converting Enzyme (ACE)-inhibitory peptides and  $\gamma$ -amino butyric acid (GABA). *LWT – Food Sci Technol*. 2013;51(1):183–189. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.017>
28. Beltrán-Barrientos LM, González-Córdova AF, Hernández-Mendoza A, et al. Randomized double-blind controlled clinical trial of the blood pressure-lowering effect of fermented milk with *Lactococcus lactis*: A pilot study. *J Dairy Sci*. 2018;10(4):2819–2825. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13189>
29. Şanlıer N, Gökçen BB, Sezgin AC. Health benefits of fermented foods. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2019;59(3):506–527. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1383355>
30. Sharifi M, Moridnia A, Mortazavi D, et al. Kefir: a powerful probiotics with anticancer properties. *Med Oncol*. 2017;34:183. <https://doi.org/10.1007/s12032-017-1044-9>
31. Tesdemir SS, Sanlier N. An insight into the anticancer effects of fermented foods: A review. *J Funct Foods*. 2020;75:104281. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104281>
32. Chen C, Hing MC, Kubow S. Kefir extracts suppress in vitro proliferation of estrogen-dependent human breast cancer cells but not normal mammary epithelial cells. *J Med Food*. 2007;10(3):416–422. <https://doi.org/10.1089/jmf.2006.236>
33. Zhang K, Dai H, Liang W, et al. Fermented dairy foods intake and risk of cancer. *Int J Cancer* 2019;144:2099–2108. <http://doi.org/10.1002/ijc.31959>
34. Nkhata SG, Ayua E, Kamau EH, et al. Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes. *Food Sci Nutr*. 2018;6:2446–2458. <https://doi.org/10.1002/fsn3.846>
35. Zhang L, Zhang M, Mujumdar AS. New technology to overcome defects in production of fermented plant products- a review. *Trends Food Sci Technol*. 2021;116:829–841. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.014>
36. Kocot AM, Wróblewska B. Fermented products and bioactive food compounds as a tool to activate autophagy and promote the maintenance of the intestinal barrier function. *Trends Food Sci Technol*. 2021;118:905–919. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.014>
37. Jayachandran M, Xu B. An insight into the health benefits of fermented soy products. *Food Chem*. 2019;271:362–371. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.158>
38. Das G, Paramithiotis S, Sundaram Sivamaruthi B, et al. Traditional fermented foods with anti-aging effect: A concentric review. *Food Res Int*. 2020;134:109269. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109269>
39. Yahfoufi N, Alsadi N, Jambi M, et al. The Immunomodulatory and Anti-Inflammatory Role of Polyphenols. *Nutrients*. 2018;10(11):1618. <https://doi.org/10.3390/nu10111618>
40. Xiang H, Sun-Waterhouse D, Waterhouse GIN, et al. Fermentation-enabled wellness foods: A fresh perspective. *Food Sci Human Wellness*. 2019;8:203–243. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.08.003>
41. Park KY, Jeong JK, Lee YE, et al. Health benefits of kimchi (Korean fermented vegetables) as a probiotic food. *J Med Food*. 2014;17(1):6–20. <https://doi.org/10.1089/jmf.2013.3083>
42. Shahbazi R, Sharifzad F, Bagheri R, et al. Anti-Inflammatory and Immunomodulatory Properties of Fermented Plant Foods. *Nutrients* 2021;13(5):1516. <https://doi.org/10.3390/nu13051516>
43. SaeidiFard N, Djafarian K, Shab-Bidar S. Fermented foods and inflammation: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Nutr ESPEN* 2020;35:30–39. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2019.10.010>
44. Stiemsma LT, Nakamura RE, Nguyen JG, et al. Does Consumption of Fermented Foods Modify the Human Gut Microbiota? *J Nutr*. 2020;150(7):1680–1692. <http://doi.org/10.1093/jn/nxaa077>
45. Turan I, Dedeli O, Bor S, et al. Effects of a kefir supplement on symptoms, colonic transit, and bowel satisfaction score in patients with chronic constipation: A pilot study. *Turk J Gastroenterol*. 2014;25:650–656. <https://doi.org/10.5152/tjg.2014.6990>
46. Bell V, Ferrão J, Pimentel L, et al. One health, fermented foods, and gut microbiota. *Foods*. 2018;7(12):195. <https://doi.org/10.3390/foods7120195>
47. Selhub EM, Logan AC, Bested AC. Fermented foods, microbiota, and mental health: ancient practice meets nutritional psychiatry. *J Physiol Anthropol*. 2014;33:2. <https://doi.org/10.1186/1880-6805-33-2>
48. Fasano FR, Budelli AL. Gluten-Related Disorder. *EP 3 351 554 A1*, Patent. 25 Jul 2018.
49. Han K, Bose S, Wang JH, et al. Contrasting effects of fresh and fermented kimchi consumption on gut microbiota composition and gene expression related to metabolic syndrome in obese Korean women. *Mol Nutr Food Res*. 2015;59:1004–1008. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201400780>
50. Warda AK, Rea K, Fitzgerald P, et al. Heat-killed lactobacillialter both microbiota composition and behaviour. *Behav Brain Res*. 2019;362:213–223. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2018.12.047>