

Tomasz Cebulak^{1,*}, Joanna Kaszuba¹, Greta Adamczyk¹,
Barbara Krochmal-Marczak²

FERMENTOWANE NAPOJE ROŚLINNE ELEMENTEM ZRÓWNOWAŻONEJ DIETY

Streszczenie: Współczesny model żywienia ulega ciągłym przemianom i w obecnie funkcjonującym dominują produkty odzwierzęce. Realistyczne podejście do tej problematyki, wynikające z postępu badań naukowych związanych z wpływem spożywanej żywności na stan zdrowia człowieka, podkreśla znaczącą rolę produktów roślinnych o wysokim potencjale biologicznym w prawidłowym żywieniu. Jednym z rodzajów tego typu produktów są roślinne napoje fermentowane na bazie ziaren zbóż, nasion strączkowych i orzechów, stanowiące obecnie alternatywę dla mlecznych produktów fermentowanych. Powstają głównie z udziałem bakterii fermentacji mlekowej (LAB) *Lactobacillus* i *Bifidobacterium*. Za korzyści zdrowotne wynikające z produktów fermentowanych uważa się głównie aktywność metaboliczną mikroorganizmów fermentujących lub ich biologicznie czynne metabolity, takie jak egzopolisacharydy (EPS) czy biologicznie aktywne peptydy (BAP) powstające na skutek oddziaływania mikroflore na rodzinne białka produktu. Napoje takie wykazują liczne korzyści prozdrowotne, w tym działanie przeciwcukrzycowe, obniżające poziom cholesterolu, przeciwutleniające oraz immunomodulujące.

Wprowadzenie

Kształtowanie postawy prozdrowotnej społeczeństw krajów rozwiniętych wiąże się z odpowiednio prowadzonymi programami w kierunku wzrostu społecznej świadomości dotyczącej wpływu odpowiedniego sposobu odżywiania oraz aktywności fizycznej na stan zdrowia. Wzrost świadomości społecznej otwiera możliwość projektowania i produkcji żywności o wysokich walorach żywieniowych i prozdrowotnych. Jednocześnie stało się powszechnie wiadome, że zachowanie zdrowia związane jest nie tylko z właściwym sposobem odżywiania, lecz także aktywnością fizyczną. Przestrzeganie tej zasady zmniejsza prawdopodobieństwo rozwoju chorób metabolicznych takich jak cukrzyca, nowotwory, choroby układu krążenia i układu pokarmowego. Zarówno dietetycy, jak i lekarze coraz częściej zwracają uwagę, że w codziennej diecie Europejczyka znajduje się zbyt dużo produktów odzwierzęcych, co w połączeniu z niską aktywnością

¹ Katedra Ogólnej Technologii Żywności i Żywienia Człowieka, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Żelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

² Zakład Produkcji i Bezpieczeństwa Żywności, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Krośnie, ul. Rynek 1, 38-400 Krosno.

* tcebulak@ur.edu.pl

fizyczną może być przyczyną aktywacji mechanizmów chorób metabolicznych. W ostatnich latach popularna stała się żywność funkcjonalna, która oprócz typowej wartości odżywczej oferuje konsumentom dodatkowe korzyści zdrowotne, które znajdują potwierdzenie w wynikach badań naukowych. Jednym z tego typu produktów zyskujących coraz to większą popularność są roślinne napoje fermentowane na bazie bakterii kwasu mlekowego o działaniu probiotycznym [Renzo i Reale 2025]. Głównymi rodzajami probiotyków stosowanymi w matrycach spożywczych są drobnoustroje z rodziny *Lactobacillus* i *Bifidobacterium*. Najnowsze badania wskazują, że napoje na bazie zbóż, owoców, orzechów oraz roślin strączkowych mogą być nośnikami bakterii probiotycznych. Produkty te, w odróżnieniu od artykułów tradycyjnych, nie zawierają laktozy, która może być przyczyną nietolerancji pokarmowej. Fermentacja pozwala na modyfikację składu jakościowego i ilościowego produktów poddanych temu procesowi [Sharma i Mishra 2013]. Zaczodzą wówczas zmiany ilościowe i jakościowe składników odżywczych, tj. białek, tłuszczów i węglowodanów, prowadzące do zmiany smaku, aromatu czy tekstury fermentowanych produktów. Dodatkowo napoje takie wychodzą naprzeciw zapotrzebowaniu rynku na wegetariańskie alternatywy mlecznych napojów fermentowanych. Przygotowanie fermentowanych napojów roślinnych ma ogromny potencjał w aspekcie rozwoju nowego produktu funkcjonalnego. Jednak przed produkcją takich napojów roślinnych stoją poważne wyzwania związane z utrzymaniem trwałości kultur bakterii probiotycznych w wytworzonych produktach [Łopusiewicz i in. 2022].

W literaturze opisano badania dotyczące ekstraktów z soi, ryżu, kukurydzy, kokosa i orzechów ziemnych. Ostatnio również ze względów zdrowotnych związanych z zasobnością w składniki odżywcze i związki bioaktywne do badań zostały dołączone także ekstrakty na bazie innych zbóż i orzechów [Hidalgo-Fuentes i in. 2024]. Wartość zdrowotna i odżywcza niektórych roślinnych ekstraktów wynika z wysokiej zawartości białek, węglowodanów i lipidów. Poza tym różnorodność surowców roślinnych wiąże się z możliwością uzyskania różnych naturalnych smaków. Wady napojów roślinnych wynikają głównie z niskiej zawartości mikroelementów oraz białka o niższej wartości żywieniowej, wyjątkiem stanowią tu napoje sojowe, a także braku wszystkich aminokwasów egzogennych w optymalnych proporcjach wymaganych przez organizm ludzki w porównaniu z mlekiem. Większość napojów roślinnych charakteryzuje niższy poziom niezbędnych makroelementów, magnezu i potasu, jak również witamin [Mantzourani i in. 2024].

Technologia produkcji roślinnych napojów fermentowanych

Produkty fermentowane pochodzenia roślinnego są wytwarzane z nasion lub ziaren różnych roślin, takich jak kukurydza, jęczmień, proso, komosa ryżowa, owies, ryż, pszenica, soja, sorgo, kokos, sezam, żyto, konopie, jak również z orzechów

laskowych i migdałów. Do ich produkcji wykorzystuje się naturalne bakterie sa-profityczne występujące na powierzchni tych surowców lub stosuje się specjalnie dobrane kompozycje bakteryjnych kultur starterowych. Przykłady tradycyjnych produktów fermentowanych pochodzenia roślinnego to kwas chlebowy, boza, kile, taar, kaera, hulumur, kali i barsh [Mishra i in. 2024]. Drobnoustroje, takie jak *Lactobacillus confusus*, *Leuconostoc mesenteroides* i *Saccharomyces cerevisiae*, są często używane do fermentacji kilku napojów [Ojeda-Linares i in. 2021]. Roślinne napoje fermentowane dzielą się na produkty alkoholowe i bezalkoholowe.

Istnieje wiele różnych procesów produkcji fermentowanych napojów roślinnych, a wykorzystywana w nich technologia uzależniona jest od surowca [Fabbri i in. 2024]. Typowy proces ich produkcji rozpoczyna się od wyselekcjonowania i oczyszczenia surowca, a następnie jego zmielenia na mokro lub sucho i poddania go dynamicznej ekstrakcji wodnej, która niekiedy może być wspomagana działaniem pól elektromagnetycznych czy ultradźwięków [Renzo i Reale 2025, Morales-de la Peña i in. 2023]. Następnym etapem produkcji napojów fermentowanych jest separacja ciał stałych poprzez filtrację, formowanie produktu przy użyciu różnych dodatków i składników, homogenizacja, obróbka cieplna w celu dezaktywacji endogennych enzymów i obciążenia mikrobiologicznego. Niekiedy w celu poprawy właściwości sensorycznych wytworzony produkt poddaje się działaniu enzymów hydrolizujących [Verni i in. 2020] lub mikrofluidyzacji [Xu i in. 2024]. Tak przygotowaną mieszaninę zaszczenia się kulturami starterowymi i poddaje procesowi fermentacji w temperaturze zalecanej dla danej mieszanek bakterii mlekowych najczęściej od 28 do 32°C. W przypadku zbyt niskiej zawartości cukrów mieszaninę uzupełnia się ich dodatkiem [Miller i in. 2013]. Proces fermentacji w dużej mierze zależy od składu mieszanek fermentacyjnej, użytych kultur bakteryjnych i trwa od kilku do kilkunastu godzin [Hidalgo-Fuentes i in. 2024]. Aby ustabilizować wartość odżywczą fermentowanych napojów roślinnych, do kompozycji można dodać biologicznie aktywne składniki o działaniu przeciwutleniającym, co zwiększa odporność produktu na procesy utleniania. Wprowadzenie substancji bioaktywnych w formie mikroemulsji stabilizowanych mikrocelulozą poprawia właściwości reologiczne i przeciwutleniające napoju [Merenkova i in. 2022]. Po procesie fermentacji napoje przeznaczone do długotrwałego przechowywania poddaje się pasteryzacji i rozlewa, natomiast te, w których chce się utrzymać żywą mikroflorę, rozlewa się do opakowań bez procesu pasteryzacji. W badaniach kontrolowanej fermentacji przeprowadzonych przez Deziderio i współpracowników [2023] na 4% ekstraktach owsa, ryżu, migdałów, orzechów brazylijskich i soi zaszczeplonych kulturami *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* LA-5® i *Bifidobacterium* BB-12, w porównaniu z równoległą fermentacją mleka pełnego UHT, wykazano, że średnia zawartość aktywnych szczepów bakterii probiotycznych była utrzymywana w mleku przez 14 dni, a w ekstraktach z migdałów, orzechów brazylijskich i nasion soi nawet przez 28 dni.

Bezpieczeństwo produkcji roślinnych napojów fermentowanych

Zagrożenia mikrobiologiczne

Rozwój mikroorganizmów w napojach alkoholowych i bezalkoholowych zależy od wielu czynników, w tym zewnętrznych i wewnętrznych. Czynniki wewnętrzne obejmują obecność środków przeciwdrobnoustrojowych, suplementów odżywczych, karbonatyzacji i kwasowości. Niemniej jednak warunki przechowywania, opakowanie, metoda produkcji, czystość zakładu produkcyjnego i surowce mają wpływ na jakość mikrobiologiczną gotowego produktu. Różne mikroorganizmy stanowią zanieczyszczenia napojów, ale niewiele z nich może występować w środowisku o niskiej zawartości tlenu i wysokiej kwasowości. Są to zwykle mikroorganizmy związane z psuciem się, procesem metabolicznym, który zmienia właściwości sensoryczne napojów do tego stopnia, że stają się one nieodpowiednie do spożycia przez ludzi, w tym szeroka gama bakterii, pleśni i drożdży [Laveffe i in. 2019]. Jednak bakterie mogą przystosować się do wysokich stężeń kwasu mlekowego i alkoholu etylowego obecnego w różnych produktach fermentowanych, a większość problemów związanych z bezpieczeństwem dotyczy bakterii chorobotwórczych, takich jak *Salmonella* spp. lub *Escherichia coli* O157:H7.

Pleśnie są naturalnie występującymi zanieczyszczeniami surowych owoców i powodują poważne pogorszenie jakości mikrobiologicznej soków owocowych [Mantzourani i in. 2024]. Grzybnia lub zarodniki pleśni mogą zainfekować produkt końcowy, produkt uboczny lub surowce służące do produkcji napojów fermentowanych. Pleśnie, które mogą wykazywać niekorzystny wpływ na jakość soków owocowych, to gatunki takie jak: *Acremonium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Botrytis*, *Byssoschlamys*, *Cladosporium*, *Eupenicillium*, *Fonseceae*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Humicola*, *Monilia*, *Mucor*, *Neosartorya*, *Penicillium*, *Rhizopus* i *Talaromyces* [Avirvarei i in. 2023]. Drożdże są uważane za powszechne zanieczyszczenie napojów ze względu na ich wyjątkową odporność na duże nasycenie dwutlenkiem węgla powyżej 3,0 obj. i warunki kwaśne. Uznawane są za ważną grupę organizmów, które wywołują niekorzystne zmiany w napojach. Jedną z głównych przyczyn zanieczyszczenia nimi napojów bezalkoholowych jest wszechobecność populacji drożdży w surowcach. Występowanie różnych ich szczepów spowodowane jest różnorodnymi czynnikami, takimi jak nieodpowiednie praktyki rolnicze, wykorzystywane odmiany roślin oraz specyfika środowiska, w którym te drożdże występują. Szczepy *Cryptococcus*, *Rhodotulora* i *Sporobolomyces* są związane z nadziemnymi częściami roślin i owoców, podczas gdy *Candida*, *Debaryomyces* i *Pichia* dominują w owocach. Mykotoksyny są metabolitami wtórnymi grzybów strzępkowych, takich jak *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* i *Alternaria* i występują powszechnie w łańcuchu pokarmowym [Niyigaba i in. 2025]. Rozpowszechnienie tych związków w produktach takich jak owoce, ziarna zbóż, warzywa, napoje i inne produkty rolne okazało się poważnym problemem dla zdrowia

ludzkiego ze względu na ich zdolność do wywoływania poważnych skutków toksycznych (rakotwórczych, genotoksycznych, teratogennych, nefro- i hepatotoksycznych) [Khan i in. 2024].

Aminy biogenne (BA) to związki zawierające azot o niskiej masie cząsteczkowej, powstające w reakcjach enzymatycznych, takich jak dekarboksylacja, transaminacja, aminacja redukcyjna i degradacja odpowiednich aminokwasów prekursorowych [Turna i in. 2024]. Można wśród nich wyróżnić związki o strukturze chemicznej, alifatycznej (kadaweryna, putrescyna, agmatyna, ornityna, spermidyna i spermina), aromatycznej (β -fenyloetyloamina i tyramina) lub heterocyklicznej (tryptamina i histamina) [Avîrvarei i in. 2023].

Kolejne zagrożenie stanowią pestycydy masowo stosowane w nowoczesnym rolnictwie, których obecność w fermentowanym surowcu zakłóca proces fermentacji. Równoległym zagrożeniem stały się metale ciężkie. Ich obecność może być wynikiem nawożenia nieatestowanymi nawozami fosforowymi i zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego [Armenova i in. 2023]. Rosnącym problemem staje się również mikroplastik wszechobecny w środowisku [Avîrvarei i in. 2023]. Wśród często poruszanych wątków w publikacjach naukowych pozostaje kwestia zawartości w produktach spożywczych pleśni, dzikich drożdży, mykotoksyn, których głównym producentem jest grzyb *Penicillium expansum* i gatunki *Alternaria* wytwarzające mykotoksynę dibenzo-pironową określaną jako alternariol. Przewlekła ekspozycja na działanie zarodników pleśni może mieć działanie mutagenne, rakotwórcze, ksenoestrogenne i immunomodulujące. W celu ograniczenia powstawania i usuwania zanieczyszczeń wykorzystuje się enzymy mikrobiologiczne drożdży, bakterie i grzyby zdolne do detoksykacji mykotoksyn, jak również techniki chemiczne obejmujące stosowanie podchlorynu, amoniaku, ozonu czy nadtlenu wodoru. Mykotoksyny mogą być neutralizowane za pomocą adsorbentów chemicznych, takich jak kulki magnetyczne zakończone sulfhydrylem, magnetyczne nanorurki węglowe (Fe_3O_4 -MWCNT) i funkcjonalizowana propylotiolem krzemionka SBA-15. Gлина, cholesterymina, estryfikowany glukomannan, węgiel aktywny i inne zmodyfikowane polimery są wykorzystywane jako absorbenty i mogą absorbować mykotoksyny w środowisku ciekłym od 17 do 100%. Metody detoksykacji fizycznej opierają się na zastosowaniu absorpcji fizycznej, filtracji przez membrany mikroporowe, mikrofal, promieniowania UV, promieniowania gamma, obróbki termicznej, technologii światła pulsacyjnego (PL) i przetwarzania wysokociśnieniowego (HPP) [Owolabi i in. 2022].

Właściwości zdrowotne roślinnych napojów fermentowanych

Fermentacja jest starożytną praktyką stosowaną do dziś w wielu kulturach na całym świecie, od Azji po Europę i Bliski Wschód, w celu zachowania i zwiększenia wartości odżywczej żywności. Proces ten nie tylko zmienia smak, zapach

i konsystencję żywności, ale także poprawia jej strawność i profil odżywczy. Fermentacja przyczynia się do rozkładu złożonych węglowodanów i białek, zwiększa wchłanianie jelitowe składników odżywczych, witamin i minerałów, czyniąc je bardziej biodostępnymi. Dodatkowo obniża indeks glikemiczny żywności dzięki aktywności enzymów mikrobiologicznych, takich jak maltaza i α -amylaza, przekształcających skrobię w cukry proste, które są łatwo wchłaniane przez mikroorganizmy, co skutkuje niską zawartością węglowodanów w produkcie końcowym [Fabbri i in. 2024]. Za korzyści zdrowotne wynikające ze spożywania produktów fermentowanych uważa się głównie aktywność metaboliczną społeczności mikroorganizmów fermentujących lub ich biologicznie czynne metabolity. Zaobserwowano, że różne LAB (bakterie kwasu mlekowego) wytwarzają egzopolisacharydy (EPS) podczas fermentacji. Wytwarzane EPS wykazują różne korzyściami zdrowotne, w tym działanie przeciwcukrzycowe, obniżające poziom cholesterolu, przeciwutleniające i immunomodulujące [Ji i in. 2021].

Stwierdzono, że fermentacja napojów pochodzenia roślinnego przyczynia się do poprawy ich właściwości sensorycznych, składu odżywczego i profilu bioaktywnego. Właściwości takie przypisuje się głównie mikroorganizmom, które wykorzystują składniki odżywcze podczas wzrostu w matrycy napojów roślinnych, co prowadzi do zmian w ich składzie [Miller i in. 2013]. Ponadto ten proces biochemiczny może pomóc w eliminacji czynników antyodżywczych, co korzystnie wpływa na biodostępność składników odżywczych [Cardinali i in. 2021]. Podczas fermentacji enzymy i mikroorganizmy rozkładają złożone makrocząsteczki (tj. białka i węglowodany) obecne w matrycy roślinnej na prostsze formy [Alexandre i in. 2023]. Proces ten może prowadzić do poprawy strawności białek, ponieważ są one częściowo hydrolizowane do polipeptydów, oligopeptydów i wolnych aminokwasów, dzięki czemu są bardziej dostępne i łatwiejsze do wchłonięcia przez organizm. Ponadto skład aminokwasowy napojów roślinnych jest modyfikowany podczas fermentacji, ponieważ niektóre aminokwasy są syntetyzowane lub uwalniane z peptydów przez mikroorganizmy, co prowadzi do zmian w ogólnym profilu aminokwasowym, który może się różnić w zależności od początkowego składu białkowego specyficznej fermentowanej macierzy roślinnej i zaangażowanych enzymów mikrobiologicznych (np. proteinaz otoczki komórkowej i peptydaz wewnątrzkomórkowych).

Fermentacja może również zwiększyć biodostępność minerałów poprzez zmniejszenie obecności czynników antyodżywczych, takich jak między innymi kwas fitynowy, saponiny, skondensowane garbniki i inhibitory tripsyny, które mogą wiązać się z minerałami i utrudniać ich wchłanianie [Criste i in. 2023]. Niektóre bakterie kwasu mlekowego mogą metabolizować szczawiany, zmniejszając ich stężenie w końcowym produkcie fermentowanym. Innym powszechnym surowcem do produkcji roślinnych napojów fermentowanych są owoce i warzywa. Nowe badania dowiodły, że biotransformacja i biodostępność związków fenolowych podczas fermentacji bakterii kwasu mlekowego mogą być podwyższone

[Abdi i in. 2025]. W badaniach Mantzourani i współpracowników [2024] przeprowadzonych na dwóch mieszankach soków, pierwsza na bazie 4 soków, druga na bazie 9 soków zagęszczonych, zaszczerpionych szczepami probiotycznymi *Lactiplantibacillus paracasei* SP5 i *Pediococcus pentosaceus* SP2 i poddanych 48-godzinnej fermentacji wykazano, że zwiększyła się aktywność antyoksydacyjna wyrażona wynikami testów DPPH i ABTS, jak również wzrosła zawartość karotenoidów (zeaksantyny i luteiny) w tych mieszankach. Podczas fermentacji zmieniły się proporcje kwasów organicznych, zmniejszyła się zawartość kwasu jabłkowego, a zwiększyła kwasów mlekowego i cytrynowego. Proces fermentacji wpłynął również na zmianę profilu polifenoli [Merenkova i in. 2022, Fabbri i in. 2024].

Obecnie jednym z ważniejszych składników napojów fermentowanych jest obecność w nich biologicznie aktywnych peptydów (BAP). BAP to peptydy składające się z 2 do 20 aminokwasów pochodzących z białek prekursorowych w wyniku procesu aktywacji obejmującego wiele reakcji, takich jak hydroliza chemiczna, hydroliza enzymatyczna katalizowana przez enzymy proteolityczne lub fermentacja mikrobiologiczna prowadzona przez bakterie proteolityczne [Fei Chai i in. 2020]. Potencjał prozdrowotny BAP zarówno pochodzenia roślinnego, jak i zwierzęcego został uznany i powiązany z kilkoma użytecznymi aktywnościami biologicznymi, w tym przeciwnadciśnieniowymi, przeciwutleniającymi, przeciwbakteryjnymi i przeciwzapalnymi [Abdi i in. 2025]. Najczęściej badanymi BAP są te obecne w mleku i produktach mlecznych, nasionach roślin strączkowych, zbożach, mięsie i rybach. Ze względu na ich obiecujące właściwości badania skupiły się na przezwyciężeniu wyzwań związanych z produkcją i dostarczaniem BAP. Rzeczywiście fermentacja często skutkuje niską zawartością BAP, którą można zwiększyć poprzez modulację parametrów fizykochemicznych, takich jak czas, temperatura i pH, oraz zastosowanie nowych zielonych technologii. Co więcej, stabilność i biodostępność BAP w systemach biologicznych można zwiększyć dzięki strategiom enkapsulacji i procesom fizykochemicznym [Fei Chai i in. 2020]. Bakterie kwasu mlekowego (LAB) i niektóre grzyby, takie jak *Aspergillus oryzae*, odgrywają kluczową rolę w tym procesie biosyntezy. Najczęściej stosowanymi LAB ze względu na ich skuteczność w wytwarzaniu BAP są *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Lactococcus lactis* ssp. *diacetylactis*, *L. lactis* ssp. *cremoris* i *Streptococcus salivarius* ssp. *Thermophilus*. Oprócz LAB znaczącą rolę w produkcji BAP odgrywają inne mikroorganizmy, takie jak gatunki *Bacillus* i niektóre grzyby. Na przykład *Bacillus subtilis* i *Bacillus licheniformis* są znane ze swojej silnej aktywności proteolitycznej, która pozwala im hydrolizować białka do bioaktywnych peptydów [Fabbri i in. 2024]. Grzyby, takie jak między innymi *Aspergillus oryzae*, *Candida lipolytica*, *Saccharomyces cerevisiae* i *Rhizopus oligosporus*, są również szeroko stosowane w produkcji BAP ze względu na różnorodność enzymów, w tym proteaz, zdolnych do rozkładania określonych typów białek pochodzenia roślinnego i zwierzęcego [Chourasia i in. 2023].

Badania wskazują na potencjał fermentowanych produktów zbożowych w poprawie zdrowia człowieka. Ziarna zbóż są wykorzystywane do tworzenia nowej żywności i składników ze względu na wysoką zawartość białka (10–15%), co czyni je odpowiednim substratem do fermentacji probiotycznej. Białka zbóż rozkładane są przez enzymy mikrobiologiczne podczas fermentacji i tworzą BAP [Takayama Arbach i in. 2021]. Ziarno ryżu poddane procesom fermentacji zawierało BAP, które zapobiegały zmianom neurogeneratywnym mózgu myszy poprzez regulację w górę poziomu neurotroficznego czynnika pochodzenia mózgowego [Tian i in. 2022]. Fermentacja ziarna owsa przez wybrane drobnoustroje *L. plantarum* i *Rhizopus oryzae* wiązała się ze wzrostem poziomu BAP w porównaniu do owsa niefermentowanego, przy jednocześnie wyższej aktywności hamującej ACE-I, co wiązać się może z działaniem przeciwnadciśnieniowym [Corpusz i in. 2019]. Dodatkowo produkty na bazie nasion pseudozbóż również zyskują lepsze właściwości po poddaniu ich fermentacji. Podobnie fermentacja nasion amarantusa przy użyciu 40 szczepów z gatunku *Lactobacillus* jako starterów w temperaturze 30°C przez 16 godzin może potencjalnie prowadzić do produkcji zapobiegającego nowotworom peptydu lunazyny [Wu i in. 2018].

Cenne właściwości fermentowanych produktów spożywczych, jak ich korzystne działanie na mikrobiotę jelitową, zostały opublikowane w pracy Vila-Real i współpracowników [2025], gdzie badano wpływ fermentowanego napoju roślinnego na bazie prosa palcowego z udziałem szczepów *Weissella confusa* 2LABPT05 i *Lactiplantibacillus plantarum* 299v na poziom krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych, octowych, propionowych i masłowych, których to poziom zwiększył się 6 godzin po spożyciu, wykazując przy tym potencjał przeciwcukrzycowy [Knez i in. 2023, Renzo i Reale 2025].

Znaczenie roślinnych napojów fermentowanych w zrównoważonej diecie

Od ponad dekady obserwujemy dynamicznie zmieniającą się matrycę żywienia. Przyjęty model żywnościowy ewoluje wraz ze zmianami społeczno-środowiskowymi i dokonaniem na gruncie badań medycznych, biologicznych i środowiskowych. Wzrost liczby chorób chronicznych niezakaźnych stawia pod znakiem zapytania obecny model żywienia, w którym filarem są produkty odzwierzęce. Tym bardziej, że w ostatnich latach znacznie wzrosło obciążenie środowiska produkcją żywności, dlatego też obecnie poszukuje się modelu żywienia, który zabezpieczałby i utrzymywał dobry stan zdrowia społeczeństwa [Rachtan-Janicka i in. 2025]. Napoje roślinne można uznać za część zrównoważonego systemu żywnościowego, ponieważ wymagają mniejszego wykorzystania zasobów (np. wody i ziemi) i generują mniejszy ślad węglowy w porównaniu z produkcją mleka krowiego. Szacuje się, że średni ślad węglowy produkcji mleka

wynosi około 3,2 kg ekwiwalentu CO₂ na litr wyprodukowanego mleka, podczas gdy ślad węglowy różnych napojów roślinnych waha się od 0,7 do 1,2 kg ekwiwalentu CO₂ na litr wyprodukowanego napoju [Abbaspour 2024].

Wartość odżywcza napojów roślinnych różni się w zależności od użytego surowca i zastosowanych procesów technologicznych. Napoje wytwarzane z nasion roślin strączkowych (soja, groch) mają stosunkowo wysoką zawartość białka z dobrym składem aminokwasowym. Ponadto nasiona roślin strączkowych i innych dwuliściennych są bogate w pektyny i ksylany, podczas gdy nasiona zbóż i innych roślin jednoliściennych są ubogie w pektyny, ale zawierają arabinoksyłan i/lub beta-glukan. Ziarno owsa jest szczególnie bogate w β-glukan, który jest rozpuszczalnym błonnikiem zwiększającym lepkość roztworu. β-glukan może opóźniać czas opróżniania żołądka i wydłużać czas pasażu żołądkowo-jelitowego, co wiąże się z niższym poziomem glukozy we krwi i, jak wykazano, przyczynia się do hipocholesterolemii. Migdały z kolei są bogate w alfa-tokoferol i mangan. Alfa-tokoferol jest funkcjonalnie aktywnym składnikiem witaminy E i silnym przeciwutleniaczem. Napoje roślinne mogą również zawierać korzystne związki bioaktywne, w tym flawonoidy, kwasy fenolowe, lignany. Jednakże napoje roślinne jako alternatywa dla produktów mlecznych są stosunkowo nowym konceptem i istnieje znacznie mniej długoterminowych badań nad ich wpływem na zdrowie niż dotyczących mleka i produktów mlecznych [Rachtan-Janicka i in. 2025].

Obecnie popularność zyskuje holistyczny model żywienia, którego podstawą są strategie łączące promocję zdrowia fizycznego i psychicznego [Hadla 2024]. Zbilansowana dieta zasobna w składniki biologicznie aktywne i regularna aktywność fizyczna są pozytywnymi elementami utrwalającymi zachowania prozdrowotne [Raubenheimer i in. 2022]. Tym bardziej, że dokonania nauki wyraźnie wskazują, iż zbyt wysokie spożycie białka, niskie spożycie błonnika pokarmowego w powiązaniu z niską i nieregularną aktywnością fizyczną przyczynia się do zakwaszenia organizmu. Taki stan promuje stany zapalne w organizmie, które to z kolei są zaczątkiem rozwoju szeregu chorób metabolicznych [Kumanyika i in. 2020]. Skierowanie uwagi w stronę produktów roślinnych także wiąże się z pewnymi wyzwaniem będącymi skutkiem niższej jakości odżywczej artykułów roślinnych, co jest wynikiem obecności w nich składników antyodżywczych i niższej jakości biologicznej białka. Jednak postęp w badaniach dokonanych w przestrzeni żywieniowo-technologicznej pozwala na tworzenie produktów, które niwelują wcześniej wspomniane ograniczenia. Jedną z grup roślinnych produktów żywnościowych wpisujących się w ten trend są fermentowane napoje na bazie nasion zbóż, orzechów oraz owoców i warzyw. Produkty te odpowiednio skomponowane i poddane kontrolowanemu działaniu mikroorganizmów pozwalają na tworzenie nowej żywności o wysokim potencjale odżywczym, będącym wynikiem wysokiej zasobności BAP, i potwierdzonym działaniem prozdrowotnym, co doskonale wpisuje się w ideę zrównoważonej diety [Rachtan-Janicka i in. 2025].

Kolejnym wyróżnikiem, dzięki któremu sfermentowana żywność jest uważana za potencjalnie korzystną dla zdrowia, jest zmiana profili odżywczych i bioaktywnych poprzez modulację aktywności enzymatycznej i mikrobiologicznej. Zmniejszenie zawartości amin biogennych i kwasu fitynowego to korzystne rezultaty procesu fermentacji. Co więcej, fermentacja na zakwasie może zmniejszyć ilość fermentujących oligosacharydów, disacharydów, cukrów prostych i poliooli (FODMAP) w produkcji, co z kolei może skutkować poprawą zdrowia układu pokarmowego. Badania epidemiologiczne wykazały pozytywny związek między spożyciem fermentowanych produktów mlecznych a ryzykiem cukrzycy typu 2, nadciśnienia, osteoporozy i zespołu jelita drażliwego [Hadla 2024].

Badania nad osią jelitowo-mózgową podkreślają związek między mikrobiomem jelitowym a zdrowiem psychicznym [Vila-Real i in. 2025]. Mikrobiom, złożona społeczność mikroorganizmów znajdujących się w przewodzie pokarmowym, wytwarza różne neuroprzekaźniki, które mogą wpływać na nastrój i poziom lęku. Dieta bogata w błonnik prebiotyczny znajdujący się w owocach, warzywach i produktach pełnoziarnistych odżywia pożyteczne bakterie jelitowe, podczas gdy pokarmy probiotyczne, takie jak jogurt i produkty fermentowane, wprowadzają żywe pożyteczne bakterie do jelit [Mantzourani i in. 2024]. Wybory dietetyczne wspierające zdrowy mikrobiom jelitowy mogą potencjalnie przyczynić się do poprawy zdrowia psychicznego. I odwrotnie, diety bogate w przetworzoną żywność i rafinowane cukry mogą zaburzać mikrobiom i prowadzić do stanu zapalnego i zwiększonego ryzyka zaburzeń zdrowia psychicznego. Dlatego priorytetowe traktowanie zdrowia jelit poprzez wybory żywieniowe jest istotnym aspektem wspierania zdrowia psychicznego i emocjonalnego [Chang de Pinho i in. 2024].

Podsumowanie

Produkty fermentacji mlekowej zazwyczaj kojarzone są z artykułami mlecznymi, ale jak wskazują najnowsze badania, bakterie kwasu mlekowego mogą być również wykorzystywane do produkcji analogów produktów fermentowanych na bazie orzechów, nasion zbóż i roślin strączkowych. Procesy fermentacji mlekowej pozwalają na znaczną redukcję związków antyodżywczych przy jednoczesnym zwiększeniu poziomu strawności białek. Dlatego też artykuły na bazie fermentowanych ziaren zbóż i roślin strączkowych mogą stanowić alternatywę dla mlecznych produktów fermentowanych głównie dla osób uczulonych na białko mleka i laktozę. Dodatkowo napoje te zawierać mogą związki o działaniu prozdrowotnym, np. błonnik pokarmowy, jak również związki bioaktywne, w tym flawonoidy, kwasy fenolowe, lignany. Połączenie technologii i zdobyczy wiedzy ostatnich lat pozwala na tworzenie roślinnych produktów fermentowanych mających korzystny wpływ na zdrowie konsumenta.

Bibliografia

- Abbaspour N. (2024). Fermentation's pivotal role in shaping the future of plant-based foods: An integrative review of fermentation processes and their impact on sensory and health benefits. *Applied Food Research*, 4, 100468.
- Abdi A., Gatri M., Filannino P., M'Hir S., Ayed L. (2025). Formulation Design and Functional Characterization of a Novel Fermented Beverage with Antioxidant, Anti-Inflammatory and Antibacterial Properties. *Beverages*, 11, 27.
- Alexandre E.M.C., Aguiar N.F.B., Voss G.B., Pintado M.E. (2023). Properties of Fermented Beverages from Food Wastes/By-Products. *Beverages*, 9, 45.
- Armenova N., Tsigoriyna L., Arsow A., Pietrov K., Pietrova P. (2023). Microbial Detoxification of Residual Pesticides in Fermented Foods: Current Status and Prospects. *Foods*, 12, 6, 1163.
- Avîrvarei A.C., Salant L.C., Pop C.R., Mudura E., Pasqualone A., Anjos O., Barboza N., Usaga J., Dărab C.P., Burja-Udrea C., Zhao H., Fărcaș A.C., Coldea T.E. (2023). Fruit-Based Fermented Beverages: Contamination Sources and Emerging Technologies Applied to Assure Their Safety. *Foods*, 12, 838.
- Awira A.C., Salanță L.C., Pop C.R., Mudura E., Pasqualone A., Anjos O., Barboza N., Jessie Usaga J., Dărab C.P., Burja-Udrea C., Zhao H., Farcaș A.C., Coldea T.E. (2023). Fruit-Based Fermented Beverages: Contamination Sources and Emerging Technologies Applied to Assure Their Safety. *Foods*, 12, 4, 838.
- Cardinali F., Osimani A., Milanović V., Garofalo C., Aquilanti L. (2021). Innovative Fermented Beverages Made with Red Rice, Barley, and Buckwheat. *Foods*, 10, 613.
- Chang de Pinho I., Giorelli G., Oliveira Toledo D. (2024). A narrative review examining the relationship between mental health, physical activity, and nutrition. *Discover Psychology* 4:162.
- Chourasia R., Chiring Phukon L., Abedin M., Padhi S., Singh S.P., Kumar Rai A. (2023). Bioactive peptides in fermented foods and their application: a critical review. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 3, 88–109.
- Corpus H.M., Fujii H., Nakamura S., Katayama S. (2019) Fermented Rice Peptides Attenuate Scopolamine-Induced Memory Impairment in Mice by Regulating Neurotrophic Signaling Pathways in the Hippocampus. *Brain Res.*, 1720, 146322.
- Criste A.D., Urcan A.C., coroiu C.O., Coplovici L., Coplovici D.A., Burtescu R., Oláh N.K. (2023). Plant-Based Beverages from Germinated and Ungerminated Seeds, as a Source of Probiotics, and Bioactive Compounds with Health Benefits—Part 1: Legumes. *Agriculture*, 13, 1185.
- Deziderio M.A., Fernandes de Souza H., Setsuko Kamimura E., Rodrigues Petrus R. (2023) Plant-Based Fermented Beverages: Development and Characterization. *Foods*, 12, 4128.
- Fabbri L.P., Cavallero A., Vidotto F., Gabriele M. (2024). Bioactive Peptides from Fermented Foods: Production Approaches, Sources, and Potential Health Benefits. *Foods*, 13, 3369.
- Fei Chai K., Ying Hui Voo A., Ning Chen W. (2020). Bioactive peptides from food fermentation: A comprehensive review of their sources, bioactivities, applications, and future development. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 19, 3825–3885.
- Hadla M. (2024). Nutrition. Exercise, and energy balance: A comprehensive guide. *Clin. Nutr. Hosp. Diet.*, 44, (1), 01–02.
- Hidalgo-Fuentes B., Jesús-José E., Cabrera-Hidalgo A.J., Sandoval-Castilla O., Espinosa-Solares T., González-Reza R.M., Zambrano-Zaragoza M.L., Liceaga A.M., Aguilar-Toalá J.E. (2024). Plant-Based Fermented Beverages: Nutritional Composition, Sensory Properties, and Health Benefits. *Foods*, 13, 844.
- Ji D., Ma J., Xu M., Agyei D. (2021). Cell-envelope Proteinases from Lactic Acid Bacteria: Biochemical Features and Biotechnological Applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 20, 369–400.

- Karwowska K.K., Kaczmarczyk D. (2023). Rola i znaczenie produktów fermentowanych w diecie. *Med. Og. Nauki Zdr.*, 29 (2), 79–88.
- Knez E., Kadac-Czapska K., Grembecka M. (2023). Fermented Vegetables and Legumes vs. Life-style Diseases: Microbiota and More. *Life*, 13, 1044.
- Khan R., Anwar F., Mohamad Ghazali F. (2024). A comprehensive review of mycotoxins: Toxicology, detection, and effective mitigation approaches. *Heliyon*, 10, e28361.
- Kumanyika S., Afshin A., Arimond M., Lawrence M., McNaughton S.A., Nishida Ch. (2020). Approaches to Defining Healthy Diets: A Background Paper for the International Expert Consultation on Sustainable Healthy Diets. *Food and Nutrition Bulletin*, 4(2s), 7–30.
- Lavefve L., Marasini D., Carbonero F. (2019). Microbial Ecology of Fermented Vegetables and Non-Alcoholic Drinks and Current Knowledge on Their Impact on Human Health. *Advances in Food and Nutrition Research*, 87, 147–185.
- Łopusiewicz Ł., Kwiatkowski P., Drożdowska E. (2022). Production and Characterization of Yogurt-Like Fermented Beverage Based on Camelina (*Camelina sativa* L.) Seed Press Cake. *Appl. Sci.*, 12, 1085.
- Mantzourani I., Nikolaou A., Kourkoutas Y., Alexopoulos A., Dasenaki M., Mastrotheodoraki A., Proestos Ch., Thomaidis N., Plessas S. (2024). Chemical Profile Characterization of Fruit and Vegetable Juices after Fermentation with Probiotic Strains. *Foods*, 13, 1136.
- Merenkova S., Zinina O., Potoroko I. (2022). Fermented Plant Beverages Stabilized with Micro-emulsion: Confirmation of Probiotic Properties and Antioxidant Activity. *Fermentation*, 8, 723.
- Miller S.A., Ikeda D.M., Weinert E., Jr., Chang K.C.S., McGinn J.M., Kelihoomalu Ch., DuPont M.W. (2013). Natural Farming: Fermented Plant Juice. *Sustainable Agriculture*, SA-7 – Aug.
- Mishra T. Machireddy J. Vuppu S. (2024). Comprehensive Study on Hygiene and Quality Assessment Practices in the Production of Drinkable Dairy-Based and Plant-Based Fermented Products. *Fermentation*, 10, 489.
- Morales-de la Peña M., Miranda-Mejía G.A., Martín-Belloso O. (2023). Recent Trends in Fermented Beverages Processing: The Use of Emerging Technologies. *Beverages*, 9, 51.
- Niyigaba T., Küçükgöz K., Kołożyn-Krajewska D., Królikowski T., Trzaskowska M. (2025). Advances in Fermentation Technology: A Focus on Health and Safety. *Appl. Sci.*, 15, (6), 3001.
- Ojeda-Linares C., Álvarez-Ríos G.D., Figueredo-Urbina C.J., Islas L.A., Lappe-Oliveras P., Nabhan G.P., Torres-García I., Vallejo M., Casas A. (2021) Traditional Fermented Beverages of Mexico: A Biocultural Unseen Foodscape. *Foods*, 10, 2390.
- Owolabi I.O., Kolawole O., Jantarabut P., Elliott Ch.T., Petchkongkaew A. (2022). The importance and mitigation of mycotoxins and plant toxins in Southeast Asian fermented foods. *npj Science of Food*, 6, 39.
- Rachtan-Janicka J., Gajewska D., Szajewska H., Włodarek D., Weker H., Wolnicka K., Wiśniewska K., Socha P., Hamulka J. (2025). The Role of Plant-Based Beverages in Nutrition: An Expert Opinion. *Nutrients*, 17, (9), 1562.
- Raubenheimer D., Seniot A.M., Mirth Ch., Cui Z., Hou R., Le Couteur D.G., Solon-Biet S.M., Le'opold P., Simpson S.J. (2022). An integrative approach to dietary balance across the life course. *iScience*, 25, 104315.
- Renzo T.D., Reale A. (2025). Process Optimization and Quality Improvement of Fermented Foods and Beverages. *Foods*, 14, 1238.
- Sharma V., Mishra H.N. (2013). Fermentation of vegetable juice mixture by probiotic lactic acid bacteria. *Nutrafoods* 12, 17–22.
- Takayame Arbach C.T., Almedia Alves I.A., Russo Serafini M.R., Stephani R., Tuler Perrone I., Carvalho da Costa J. (2021). Recent patent applications in beverages enriched with plant proteins. *Science of Food*, 5, 28.

- Tian F., Woo S.Y., Lee S.Y., Park S.B., Im J.H., Chun H.S. (2022). Mycotoxins in Soybean-based Foods Fermented with Filamentous Fungi: Occurrence and Preventive Strategies. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 21, 5131–5152.
- Turna N.S., Chung R., McIntyre L. (2024). A review of biogenic amines in fermented foods: Occurrence and health effects. *Heliyon*, 10, e24501.
- Verni M., Demarinis Ch., Rizzello C.G., Baruzzi F. (2020). Design and Characterization of a Novel Fermented Beverage from Lentil Grains. *Foods*, 9, 893.
- Vila-Real C., Costa C., Pimenta-Martins A., Mbugua S., Hagrétou S.L., Katina K., Maina N.H., Pinto E., Gomes A.M.P. (2025). Novel Fermented Plant-Based Functional Beverage: Biological Potential and Impact on the Human Gut Microbiota. *Foods*, 14, 433.
- Wu H., Rui X., Li W., Xiao Y., Zhou J., Dong M. (2018). Whole-Grain Oats (*Avena sativa* L.) as a Carrier of Lactic Acid Bacteria and a Supplement Rich in Angiotensin I-Converting Enzyme Inhibitory Peptides through Solid-State Fermentation. *Food Funct.*, 9, 2270–2281.
- Xu J., Fan X., Xu X., Deng D., Yang L., Song H., Liu H. (2024). Microfluidization improved hempseed yogurt's physicochemical and storage properties. *J. Sci. Food. Agric.*, 104, 2252–2261.

Fermented plant-based beverages as a component of a sustainable diet

Abstract: The modern model of nutrition is constantly being rebuilt, currently the functioning nutritional model is dominated by animal products. A realistic approach to this subject—driven by scientific advances regarding the impact of diet on human health—highlights the significant role of plant-based products with high biological potential in proper nutrition. One such category comprises fermented plant-based beverages made from cereal grains, legumes, and nuts, which currently serve as an alternative to fermented dairy products. They are mainly based on lactic acid bacteria *Lactobacillus* and *Bifidobacterium*. The health benefits of fermented products are mainly considered to be the metabolic activity of the fermenting microorganism community or their biologically active metabolites, such as exopolysaccharides (EPS) or biologically active peptides (BAP) formed as a result of the impact of the microflora on the native proteins of the product. Such drinks have numerous health benefits, including antidiabetic, cholesterol-lowering, antioxidant and immunomodulatory effects.

