



Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Rada Naukowa Dyscypliny
Technologia Żywności i Żywienia UP
ul. Skromna 8
20-704 Lublin
za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Katarzyna Skrzypczak

Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego i Gastronomii
Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wniosek

z dnia 20.04.2026

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie **nauk rolniczych** w dyscyplinie **technologia żywności i żywienia**.

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego:

Cykl 5 prac tworzących osiągnięcie naukowe pod wspólnym tytułem:

Fermentacja kwasu mlekowego surowców pochodzących z roślin strączkowych jako strategia zwiększania potencjału prozdrowotnego i funkcjonalności nowych produktów spożywczych

Wniosuję – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce – aby komisja habilitacyjna podejmowała uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **tajnym/jawnym***¹

Zostałem poinformowany, że:

Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).

Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu. Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art. 232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenia postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

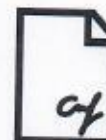
Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html

.....
(podpis wnioskodawcy)

¹ * Niepotrzebne skreślić.

Załączniki:

- Załącznik 1 - Dane wnioskodawcy
- Załącznik 2 - Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora
- Załącznik 3 - Autoreferat prezentujący opis osiągnięć i dorobku naukowobadawczego
- Załącznik 4 - Wykaz osiągnięć naukowych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny
- Załącznik 5 - Kopie publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe P1-P5
- Załącznik 6 - Oświadczenia współautorów określające indywidualny wkład każdego z nich w powstanie prac stanowiących osiągnięcie naukowe
- Załącznik 7 - Wykaz publikacji i cytowań potwierdzony przez Bibliotekę UP w Lublinie
- Załączniki do wykazu osiągnięć naukowych przedstawionych w Załączniku 4:
 - Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.1.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.2.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.3.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.4.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.5.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.6.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.7.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.8.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.9.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.10.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.6.poz.1.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.6.poz.2.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.6.poz.3.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.6.poz.4.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.7.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.8.
 - Załącznik 8 do Wykazu II.10.
 - Załącznik 8 do Wykazu III.3.



PODPIS ZAUFANY

KATARZYNA
SKRZYPCZAK

20.04.2026 10:27:28 GMT+0200

Document signed electronically
with trusted signature



**WYDZIAŁ
NAUK O ŻYWNOŚCI
I BIOTECHNOLOGII**

dr inż. Katarzyna Skrzypczak

Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego i Gastronomii

Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

**AUTOREFERAT PREZENTUJĄCY OPIS
OSIĄGNIĘĆ I DOROBKU
NAUKOWO-BADAWCZEGO**

Lublin 2026

Spis treści

1. Imię i nazwisko.....	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych	3
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy	4
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	4
4.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego.....	4
4.3. Omówienie celu naukowego i uzyskanych wyników wskazanego osiągnięcia	4
4.3.1. Wstęp	4
4.3.2. Cel naukowy osiągnięcia oraz omówienie wyników badań	7
4.3.3. Podsumowanie	34
4.3.4. Pozostałe osiągnięcia	42
4.3.5. Pozostałe wątki naukowe	47
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury	49
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę	51
6.1. Działalność dydaktyczna	51
6.2. Działalność organizacyjna	55
6.3. Działalność popularyzująca naukę lub sztukę	55
7. Inne ważne informacje dotyczące kariery zawodowej	57
7.1. Dorobek publikacyjny	57
7.2. Udział w konferencjach.....	59
7.3. Udział w projektach badawczych	60
7.4. Współpraca z otoczeniem społecznym i gospodarczym	63
7.5. Współpraca z jednostkami naukowymi krajowymi i zagranicznymi, działalność międzynarodowa.....	64
7.6. Członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism, wykonane recenzje prac w czasopismach krajowych i międzynarodowych.....	68
7.7. Otrzymane nagrody i wyróżnienia	69
7.8. Odbyte szkolenia i kursy	70
7.9. Udział w szkoleniowych i dydaktycznych programach międzynarodowych.....	72
7.10. Odbyte staże krajowe i zagraniczne	73

1. Imię i nazwisko

Katarzyna Skrzypczak (pozostałe dane personalne zamieszczono w Załączniku 1)

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

2016 – Doktor nauk rolniczych w zakresie technologii żywności i żywienia – nadany uchwałą Rady Wydziału Nauk o Żywności i Biotechnologii z dn. 21.12.2016

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Wykorzystanie wybranych szczepów *Lactobacillus helveticus* w kulturach starterowych do produkcji sera”

Promotor: Prof. dr hab. Waldemar Gustaw

2012 – Ukończenie studiów magisterskich na Wydziale Biologii i Biotechnologii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, na kierunku Biologia w specjalności ogólna i eksperymentalna oraz uzyskanie tytułu magistra

Tytuł pracy magisterskiej: „Czynniki wpływające na siłę i energię kiełkowania nasion *Allium victorialis* L.”

Promotor: dr hab. Krystyna Winiarczyk

2011 – Ukończenie studiów magisterskich na Wydziale Nauk o Żywności i Biotechnologii Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie na kierunku Biotechnologia i uzyskanie tytułu magistra inżyniera

Tytuł pracy magisterskiej: „Identyfikacja sekwencji genów warunkujących oporność bakterii *Lactobacillus rhamnosus* na erytromycynę”

Promotor: dr Adam Waśko

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

- **01.03.2017– do chwili obecnej - Adiunkt** (pracownik badawczo-dydaktyczny)

Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego i Gastronomii, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

- **01.03.2016 – 28.02.2017 - Asystent** (pracownik badawczo-dydaktyczny)

Katedra Technologii Owoców, Warzyw i Grzybów na Wydziale Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym, będącym podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego na podstawie art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.) jest monotematyczny cykl pięciu publikacji naukowych, ujętych pod wspólnym tytułem:

Fermentacja kwasu mlekowego surowców pochodzących z roślin strączkowych jako strategia zwiększania potencjału prozdrowotnego i funkcjonalności nowych produktów spożywczych.

Kopie publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego (P1-P5) zostały zawarte w Załączniku 5, natomiast oświadczenia współautorów, określające ich indywidualny wkład w powstanie wymienionych publikacji zebrano w Załączniku 6.

4.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

P1. Skrzypczak, K., Michalak, K., Wyrostek, J., Jabłońska-Ryś, E., Sławińska, A., Radzki, W., & Gustaw, W. (2022) *Bacterial profile and changes in the protein-peptide fraction in spontaneously fermented *Lens culinaris* Medik.*, Applied Sciences, 12(17), Article 8916, <https://doi.org/10.3390/app12178916>.

(Punkty MNiSW¹=100; IF²=2,7)

Wkład habilitanta: Pomysłodawca badań, opracowanie koncepcji pracy, pozyskanie materiału do badań, opracowanie metod badawczych, wykonanie badań laboratoryjnych, autor korespondencyjny, administrowanie projektem, pozyskanie środków do finansowania badań, opracowanie i interpretacja wyników, przygotowanie manuskryptu oraz korekta tekstu po uwagach recenzentów. Swój udział szacuję na 70%.

P2. Skrzypczak, K., Agnolucci, M., Grassi, A., Cristani, C., Michalak, K., Przygoński, K., & Kasprzyk-Pochopień, J. (2026) *Exploring microbiological and biochemical changes in red lentil (*Lens culinaris* Medik.) during spontaneous fermentation*, LWT- Food Science and Technology, 240, Article 118847, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118847>.

¹Punkcja została podana na podstawie Wykazu Czasopim Punktowanych MNiSWobowiązujących dla roku wydania publikacji.

²Impact Factor według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania.

(Punkty MNiSW=100; IF=6)

Wkład habilitanta: Pomysłodawca badań, opracowanie koncepcji pracy, pozyskanie materiału do badań, opracowanie metod badawczych, wykonanie badań laboratoryjnych, autor korespondencyjny, administrowanie projektem, pozyskanie środków do finansowania badań, opracowanie i interpretacja wyników, przygotowanie manuskryptu oraz korekta tekstu po uwagach recenzentów. Swój udział szacuję na 70%.

P3. Skrzypczak, K., Nalbandian, E., Bernin, J., Rezaey, M., Smith, B. M., Richter, J. K., & Ganjyal, G. M. (2025) *Effect of probiotic fermentation on the techno-functional properties and select antinutritional components in lentil flour*, Food and Bioprocess Technology, 18(11), 11947–11962, <https://doi.org/10.1007/s11947-025-04076-1>.

(Punkty MNiSW=100; IF=5,8)

Wkład habilitanta: Pomysłodawca badań, opracowanie koncepcji pracy, pozyskanie materiału do badań, opracowanie metod badawczych, wykonanie badań laboratoryjnych, opracowanie i interpretacja wyników, przygotowanie manuskryptu oraz korekta tekstu po uwagach recenzentów. Swój udział szacuję na 70%.

P4. Skrzypczak, K., Teterycz, D., Gustaw, W., Domagała, D., Mielczarek, P., & Kasprzyk-Pochopień, J. (2024) *The possibility of using Lactobacillus plantarum 299v to reinforce the bioactive properties of legume-derived beverages*, Applied Sciences, 14(12), Article 5187, <https://doi.org/10.3390/app14125187>.

(Punkty MNiSW=100; IF=2,5)

Wkład habilitanta: Pomysłodawca badań, opracowanie koncepcji pracy, pozyskanie materiału do badań, opracowanie metod badawczych, wykonanie badań laboratoryjnych, autor korespondencyjny, administrowanie projektem, pozyskanie środków do finansowania badań, opracowanie i interpretacja wyników, przygotowanie manuskryptu oraz korekta tekstu po uwagach recenzentów. Swój udział szacuję na 75%.

P5. Skrzypczak, K., Wirkijowska, A., Przygoński, K., Terpiłowski, K., & Blicharz-Kania, A. (2024) *Quality and functional properties of bread containing the addition of probiotically fermented Cicer arietinum*, Food Chemistry, 448, Article 139117, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139117>.

(Punkty MNiSW=200; IF=9,8)

Wkład habilitanta: Pomysłodawca badań, opracowanie koncepcji pracy, pozyskanie materiału do badań, opracowanie metod badawczych, wykonanie badań laboratoryjnych, administrowanie projektem, pozyskanie środków do finansowania badań, opracowanie i interpretacja wyników, przygotowanie manuskryptu oraz korekta tekstu po uwagach recenzentów. Swój udział szacuję na 50%.

Sumaryczna wartość punktowa MNiSW/MEiN = 600, IF=26,8

4.3. Omówienie celu naukowego i uzyskanych wyników wskazanego osiągnięcia

4.3.1. Wstęp

Aktualne tempo wzrostu populacji i nasilająca się presja na zasoby środowiska determinują konieczność transformacji systemów żywnościowych w kierunku modeli zrównoważonych, stanowiąc jedno z kluczowych wyzwań dla światowej gospodarki żywności (Habib i in., 2025). Predykcyjne analizy demograficzne wskazują, że do 2050 roku liczba ludności na świecie może przekroczyć 9,7 miliarda, a w kolejnych dekadach może osiągnąć poziom blisko 10 miliardów, co będzie wiązało się z koniecznością zwiększenia globalnej produkcji żywności o blisko 70% (Çakmakçı i in., 2024; Choreziak i in., 2025). W świetle tych niepokojących prognoz przyszłość polityki żywnościowej jest obecnie przedmiotem intensywnych debat i wielu badań naukowych, koncentrujących się m. in. na poszukiwaniu zrównoważonych źródeł składników odżywczych, w tym alternatywnych źródeł białka (Nobanee i Shanti, 2025). W tym kontekście białka roślinne coraz częściej są wskazywane jako jeden z kluczowych kierunków rozwiązań, łączący cele zdrowia publicznego, zrównoważonego rozwoju oraz bezpieczeństwa żywnościowego.

Obecnie odnotowuje się wysoki popyt na produkty wytwarzane z surowców roślinnych, a analizy rynkowe wskazują na jego dalszy istotny wzrost w nadchodzącej dekadzie (Global Plant-Based Protein Industry 2025-2029; Hertzler i in., 2020). Trend ten odzwierciedla zmiany preferencji konsumentów wynikające ze wzrostu świadomości znaczenia zrównoważonej produkcji żywności oraz popularności diet roślinnych, co prowadzi do zwiększonego zainteresowania wartością odżywczą i funkcjonalną żywności roślinnej (Cuevas-Rodríguez i in., 2025a; Senanayake i in., 2023a). Szczególne znaczenie w tym obszarze przypisuje się roślinom strączkowym (*Fabaceae*, dawniej *Leguminosa*), które stanowią jedno z najważniejszych źródeł białka roślinnego i należą do najstarszych i najważniejszych dla ludzkości grup roślin uprawnych. W ich obrębie wyróżnia się ponad 600 rodzajów obejmujących około 1300 gatunków, z których jedynie około 20 znajduje powszechne zastosowanie w żywieniu człowieka (Fouad Abobatta i in., 2021). Surowce te charakteryzują się korzystnym profilem odżywczym, obejmującym wysoką zawartość białka i błonnika przy relatywnie niskiej zawartości tłuszczu (Kaur i in.,

2025; Samal i in, 2023). Jednakże ich potencjał użytkowy pozostaje w znacznej mierze niewykorzystany, co wynika z ograniczeń infrastrukturalnych, niewystarczającej integracji rynkowej oraz ograniczonych inwestycji w badania naukowe (Fouad Abobatta i in, 2021; Gayacharan i in, 2023).

Opisana sytuacja znajduje odzwierciedlenie w literaturze naukowej, w której rośliny strączkowe określane są mianem „*forgotten gems*”, co podkreśla ich wciąż niedocenianą rolę w systemach żywnościowych (Kaur i in, 2025). Jednocześnie podkreśla się, że wiele gatunków pozostaje niewystarczająco poznanych i niewykorzystanych, mimo ich potencjału, który mógłby zostać wykorzystany m.in. w przeciwdziałaniu niedożywieniu w krajach rozwijających się dotkniętych głodem i deficytami żywieniowymi (Acheampong i in, 2025; Fouad Abobatta i in, 2021; Samal i in, 2023). Ponadto liczne badania wskazują na istotną rolę omawianego surowca roślinnego nie tylko w zapobieganiu niedożywieniu białkowo-energetycznemu, lecz także w profilaktyce chorób dietozależnych (Cuevas-Rodríguez i in, 2025a; Acheampong i in, 2025; Akanni i Adebo, 2024; Kaur i in, 2025).

Rośliny strączkowe, w zależności od gatunku, odmiany oraz warunków uprawy, różnią się podstawowym składem chemicznym, obejmującym zawartość białka (32–37%), węglowodanów (23–40%) oraz tłuszczu (3,28–9,26%). Oprócz tego stanowią cenne źródło składników mineralnych, takich jak wapń, fosfor, sód, żelazo, magnez, cynk, mangan, potas, bor, bar, siarka i miedź, a także witamin A, B, C i E (Ogbole i in, 2023). Ponadto rośliny z rodzaju Fabaceae odgrywają istotną rolę w zrównoważonym rolnictwie, wspierając obieg azotu, sekwestrację węgla oraz ograniczanie zasolenia gleby, a tym samym zwiększając odporność systemów rolniczych na zmiany klimatyczne (Srivastava i in, 2025). Dodatkowo, wysoka odporność omawianych roślin na ekstremalne czynniki środowiskowe (w tym suszę) oraz ich zdolność do adaptacji do gleb ubogich w składniki pokarmowe czynią je ważnym surowcem w systemach produkcji żywności (Kaur i in, 2025).

Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) wskazuje, że rośliny strączkowe stanowią ważne źródło białka roślinnego, odgrywając istotną rolę w utrzymaniu zdrowej i zbilansowanej diety (Committee i in, 2024; EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies, 2010). Niemniej jednak, pomimo wysokiej wartości odżywczej, spożycie roślin strączkowych w wielu krajach pozostaje niskie i odbiega od zaleceń żywieniowych (Costlow i in, 2024). W Polsce problem ten dotyczy znaczącej części populacji (Ministerstwo Zdrowia, Departament Zdrowia Publicznego, 2025), gdyż regularne spożycie deklaruje jedynie niewielki odsetek (7,9–14,8%) badanych.

Niemniej jednak, pomimo licznych korzyści wynikających z uprawy i konsumpcji roślin strączkowych, ich szerokie zastosowanie w technologii żywności i żywieniu wciąż bywa kwestionowane, głównie ze względu na obecność związków antyodżywczych (ang. antinutritional factors, ANFs), które pozostają przedmiotem wielu debat naukowych (Amoah i in, 2023).

Wskazuje się, że substancje zaliczane do ANFs mogą obniżać biodostępność składników odżywczych oraz negatywnie wpływać na ich metabolizm w organizmie człowieka. Do najczęściej występujących w roślinach strączkowych składników antyodżywczych należą fitiny, szczawiany,

a także inhibitory trypsyny, lektyny, taniny, saponiny oraz glikozydy cyjanogenne (Okaiyeto i in, 2025; Ozolina i in, 2023; Yılmaz Tuncel i in, 2025). Dodatkowo do czynników ograniczających akceptację konsumencką produktów powstających z surowców roślin strączkowych należą nieprzyjemny „fasolowy posmak” (związany z aktywnością endogennych enzymów, takich jak lipooksygenaza i peroksydazy) oraz wysoka zawartość oligosacharydów (rafinozy, stachiozy, werbaskozy), które mogą prowadzić do wzdęć i uczucia dyskomfortu trawiennego (Amoah i in, 2023; Samtiya i in, 2020; Sun i in, 2020).

Aby przeciwdziałać tym ograniczeniom i w pełni wykorzystać potencjał roślin strączkowych, rośnie potrzeba opracowania efektywnych metod ich przetwarzania. W literaturze opisano liczne techniki obejmujące wstępne przygotowanie nasion, takie jak moczenie (z kontrolą czasu, temperatury i pH), zastosowanie ultradźwięków lub wysokiego ciśnienia hydrostatycznego, usuwanie okryw nasiennych oraz rozdrabnianie, a także obróbkę termiczną w tym m.in. gotowanie, prażenie, autoklawowanie oraz promieniowanie podczerwone (Amoah i in, 2023; Gu i in, 2023). Równoległe obserwuje się rosnące zainteresowanie metodami biologicznymi i biotechnologicznymi, obejmującymi zarówno fermentacje spontaniczne (określane także jako naturalne, dzikie lub niekontrolowane), jak i procesy prowadzone w warunkach kontrolowanych (tzw. fermentacje kierowane lub wymuszone).

Fermentacja stanowi jedną z najstarszych metod konserwowania żywności (tzw. biokonserwacja). Proces ten, będący integralną częścią tradycyjnych metod przygotowywania produktów o znaczeniu etnoreligijnym i etnodietetycznym, pozwala nie tylko wydłużyć trwałość surowców, lecz także podwyższać ich wartość odżywczą i funkcjonalną (Torres i in, 2020). Ponadto, w przeciwieństwie do konwencjonalnych metod utrwalania, takich jak obróbka termiczna czy stosowanie konserwantów chemicznych, procesy fermentacyjne cechują się relatywnie niskimi kosztami oraz sprzyjają zachowaniu i biosyntezie związków bioaktywnych, zwiększają biodostępność składników mineralnych i witamin, ograniczają zawartość związków antyodżywczych w surowcach roślinnych oraz poprawiają jakość żywności (Cichońska i Ziarno, 2022; Emkani i in, 2022; Ozolina i in, 2023). Dodatkowo, reakcje zachodzące podczas fermentacji prowadzą do powstawania metabolitów, takich jak kwasy organiczne, które obniżają pH i hamują rozwój patogenów, zwiększając bezpieczeństwo mikrobiologiczne produktów finalnych. Jednak efektywność i przebieg tych przemian w dużej mierze zależą od właściwości surowca, czynników środowiskowych oraz aktywności metabolicznej mikroorganizmów uczestniczących w procesach fermentacyjnych (Ozolina i in, 2023; Samtiya i in, 2020; Sun i in, 2020).

Pomimo rosnącego zainteresowania fermentowanymi produktami roślinnymi, w krajach europejskich wyroby wytwarzane z roślin strączkowych innych niż soja pozostają nadal mało popularne i są one trudno dostępne. Większość produktów powstaje z całych nasion, a proces fermentacji prowadzony jest bez tworzenia środowiska wodnego (bez zalew i solanek), tzw. solid-state fermentation, z wykorzystaniem jako kultur startowych grzybów strzępkowych lub bakterii *Bacillus subtilis* var. *natto* (Chan i in, 2021; Dhull i in, 2020). Ponadto w literaturze naukowej podkreśla się, że surowce pochodzące z nasion roślin strączkowych innych niż soja, które są fermentowane przez

określone bakterie kwasu mlekowego (LAB) stanowią jedynie niewielki odsetek badań prowadzonych w tym obszarze (Cichońska i Ziarno, 2022; Emkani i in, 2022).

Wskazana powyżej luka badawcza nie tylko podkreśla konieczność pogłębienia wiedzy na temat procesów fermentacyjnych zachodzących w przypadku gatunków roślin strączkowych innych niż soja, lecz także uwidacznia znaczący potencjał dalszych badań, otwierając perspektywy rozwoju innowacyjnych produktów o właściwościach funkcjonalnych i prozdrowotnych.

Przedstawione zagadnienia stanowiły przesłankę do rozpoczęcia przeze mnie badań nad możliwością wykorzystania fermentacji mlekowej surowców pochodzących z roślin strączkowych w procesie wytwarzania żywności o podwyższonym potencjale prozdrowotnym. Podjęta problematyka badawcza wpisuje się w aktualne kierunki rozwoju nauk o żywności i żywieniu, odpowiadając na rosnącą potrzebę opracowywania nowych produktów spożywczych z surowców roślinnych, charakteryzujących się wysoką wartością odżywczą, ograniczonym udziałem dodatków syntetycznych oraz zwiększonym poziomem właściwości funkcjonalnych.

4.3.2. Cel naukowy osiągnięcia oraz omówienie wyników badań

Nadrzędnym celem badań składających się na cykl publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe w rozumieniu art. 219 ust. 1 pkt 2b ustawy była weryfikacja hipotezy badawczej zakładającej, że zastosowanie fermentacji mlekowej — zarówno spontanicznej, jak i kontrolowanej z udziałem wyselekcjonowanych szczepów probiotycznych — w surowcach i produktach pochodzących z roślin strączkowych prowadzi do istotnych zmian ich właściwości mikrobiologicznych, biochemicznych, fizykochemicznych i sensorycznych oraz wpływa na potencjał prozdrowotny otrzymanych produktów spożywczych.

Zakres badawczy cyklu publikacji, stanowiących podstawę postępowania o nadanie tytułu doktora habilitowanego obejmował następujące cele szczegółowe:

1. Określenie profilu bakterii oraz zmian w składzie białkowo-peptydowym zachodzących podczas spontanicznej fermentacji *Lens culinaris* Medik. var. *culinaris* (soczewicy jadalnej), z uwzględnieniem modyfikacji wybranych potencjalnych alergenów.
2. Analizę dynamiki zmian składu mikrobiologicznego w czasie spontanicznej fermentacji soczewicy jadalnej oraz ocenę możliwości wykorzystania tego procesu jako źródła nowych, potencjalnie funkcjonalnych izolatów bakterii kwasu mlekowego zdolnych do biosyntezy ryboflawiny.
3. Badanie wpływu kontrolowanej fermentacji prowadzonej przy udziale probiotycznego szczepu bakterii (*Lactiplantibacillus plantarum* 299v) na zmiany zawartości wybranych składników antyodżywczych i związków biologicznie czynnych w *Lens culinaris* Medik.

4. Opracowanie i charakterystykę nowych produktów spożywczych oraz innowacyjnych, funkcjonalnych dodatków do żywności otrzymanych z surowców pochodzących z nasion roślin strączkowych, fermentowanych przy udziale *L. plantarum* 299v.

Przed rozpoczęciem badań przeprowadzono szczegółową analizę aktualnego stanu wiedzy przedstawionego w literaturze naukowej dotyczącej badanego zagadnienia, co umożliwiło identyfikację kluczowych obszarów wymagających pogłębionej analizy oraz precyzyjne określenie kierunków dalszych prac badawczych. Najistotniejsze zagadnienia teoretyczne zostały następnie ujęte we wstępach opublikowanych prac wchodzących w skład przedstawionego osiągnięcia naukowego (**P1–P5**).

Cykl publikacji zaplanowano w sposób umożliwiający stopniowe pogłębianie wiedzy oraz rozwój autorskiej koncepcji badawczej, która ewoluowała w oparciu o uzyskiwane wyniki, stanowiące podstawę do rozszerzania zakresu prowadzonych analiz.

Prace **P1–P2** poświęcone zostały procesom fermentacji spontanicznej, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu zachodzących przemian mikrobiologicznych i biochemicznych na zmiany właściwości fermentowanego surowca. Wiedza zdobyta na tym etapie badań oraz rozwinięte kompetencje metodologiczne i badawcze umożliwiły rozszerzenie zakresu analiz, które następnie zostały pogłębione w ramach prac **P3–P5**. Publikacje te analizowały przydatność probiotycznego szczepu *L. plantarum* 299v do fermentacji nasion roślin strączkowych oraz możliwości tworzenia innowacyjnych produktów o pożądanym właściwościach funkcjonalnych.

Wybór nasion soczewicy jadalnej o czerwonych okrywkach nasiennych jako surowca do badań przedstawionych w pracach **P1** i **P2** wynikał z jej istotnego znaczenia jako rośliny strączkowej o wysokiej wartości odżywczej, w tym znacznej zawartości białka roślinnego oraz składników bioaktywnych, co czyni ją atrakcyjnym komponentem żywności funkcjonalnej oraz diet opartych na roślinach (Alexander i in., 2024; S. Santos i in., 2020).

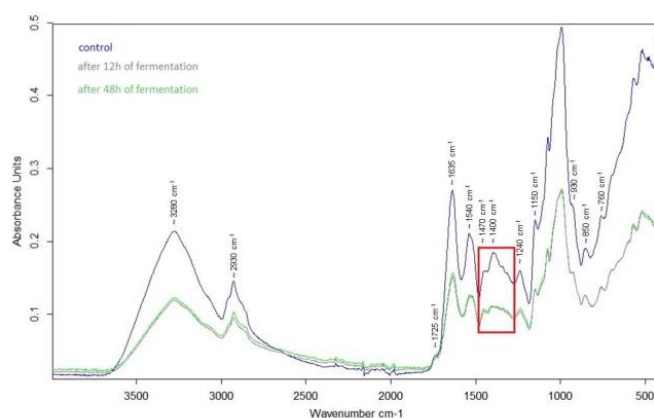
W literaturze naukowej soczewica jest gatunkiem przebadanym w zdecydowanie mniejszym stopniu niż inne rośliny strączkowe. Należy ona do tzw. „upraw zaniedbanych” (neglected crops), które mimo dużego znaczenia żywieniowego są stosunkowo rzadziej przedmiotem badań. Jednocześnie jej potencjał technologiczny, w tym możliwości przetwarzania i przydatności do prowadzenia procesów fermentacji, wciąż nie jest w pełni poznany (Reif i in., 2021; Verma i in., 201; Liu i in., 2025; Vurro i in., 2024).

Ad 1. Określenie profilu bakterii oraz zmian w składzie białkowo-peptydowym zachodzących podczas spontanicznej fermentacji *Lens culinaris* Medik. var. *culinaris* (soczewicy jadalnej) z uwzględnieniem modyfikacji wybranych potencjalnych alergenów

Pierwotnie fermentacja surowców roślinnych odbywała się wyłącznie przy udziale mikroflory autochtonicznej, naturalnie obecnej w surowcu i jego środowisku. Natomiast, w przemysłowej produkcji żywności stosuje się wyselekcjonowane kultury starterowe o ściśle określonej kompozycji

i formie ponieważ monitorowanie i kontrola spontanicznie zachodzących procesów jest ograniczona, a uzyskanie produktów o powtarzalnych właściwościach w każdej partii stanowi duże wyzwanie (Peñas i in, 2017; Wood, 2016). Niemniej jednak uważa się, że mikroorganizmy autochtoniczne mogą prowadzić fermentację efektywniej i nadawać produktom końcowym pożądane, specyficzne cechy w zdecydowanie większym stopniu niż startery allochtoniczne (Di Cagno i in, 2013; Torres i in, 2020). Dodatkowo wykazuje się, że spontanicznie fermentowane surowce roślinne mogą stanowić cenny rezerwuar drobnoustrojów (w tym nowych szczepów LAB), o wysokim potencjale technologicznym i korzystnych właściwościach zdrowotnych, które po izolacji, identyfikacji i selekcji mogłyby znaleźć szerokie zastosowanie produkcji żywności (Benavides i in, 2016; Cichońska i Ziarno, 2022; Torres i in, 2020). W tym kontekście zaplanowano badania mające na celu określenie zmian zachodzących w soczewicy jadalnej o czerwonych okrywach nasiennych (soczewicy czerwonej) jako surowca do spontanicznej fermentacji, a także podjęto próbę scharakteryzowania profilu drobnoustrojów tworzących jej niszę mikrobiologiczną po zakończeniu tego procesu. Wyniki tych badań przedstawiono w pracy **P1**.

Jednym z kluczowych rezultatów opublikowanych badań są wyniki analiz wykonanych przy użyciu Illumina NGS (Next-Generation Sequencing), które wykazały obecność szesnastu różnych gatunków bakterii w soczewicy po 48 h spontanicznej fermentacji. Dominującymi mikroorganizmami były *Lactococcus taiwanensis* i *Lactococcus pentosaceus*, stanowiące odpowiednio 54,95% i 25,34% całkowitej populacji bakterii. Najmniejszy udział (około 0,01%) miały bakterie *Brevibacillus parabrevis*, *Enterococcus columbae*, *Enterococcus saigonensis*, *Pediococcus claussenii* oraz *Lactococcus lactis*. Wśród wykrytych mikroorganizmów zidentyfikowano także dwa gatunki rodzaju *Weissella*: *W. diestrammenae* oraz *W. confuse*. Ponadto, wyniki badań wstępnych (przedstawione w pracy **P1**), jednoznacznie wskazały, że spontaniczna fermentacja badanego surowca roślinnego prowadzi do istotnych zmian w jego profilu białkowo-peptydowym względem układu kontrolnego, co zostało potwierdzone analizą uzyskanych widm FT-IR (Ryc. 1).



Ryc. 1. Porównanie widm FT-IR otrzymanych dla badanych próbek soczewicy.

Objaśnienia: control – surowiec niefermentowany (kontrola); after 12h of fermentation – surowiec po 12 godzinach spontanicznej fermentacji; after 48h of fermentation – surowiec po 48 godzinach spontanicznej fermentacji; najbardziej istotne różnice między próbkami fermentowanymi a próbką kontrolną zostały oznaczone czerwonym prostokątem. (źródło: publikacja **P1**).

Zaobserwowano, że sygnał w obszarze około 1400 cm^{-1} , wskazujący na obecność grup aromatycznych, jest wyraźnie silniejszy w próbce kontrolnej, tj. w surowcu niepoddanym fermentacji (Ryc. 1). Natomiast jego brak w materiale po fermentacji odzwierciedla przemiany biochemiczne i strukturalne (zwłaszcza w obrębie grup fenolowych i aromatycznych) zachodzące w wyniku aktywności mikroorganizmów (Socrates, 2001).

Widoczny we wszystkich badanych próbkach zakres pasma $1657\text{--}1632\text{ cm}^{-1}$, odpowiadający drganiom rozciągającym wiązania C=O (Rys. 1), jest charakterystyczny dla białek i peptydów (Guerrero i in, 2013; Singh i in, 2016). Zmiany obserwowane w tym regionie wskazują na zachodzące podczas spontanicznej fermentacji procesy hydrolizy białek, indukowane przez bakteryjne enzymy proteolityczne. Różnice w składzie frakcji białkowo-peptydowych pomiędzy próbkami fermentowanymi a próbą kontrolną potwierdziły również wyniki analizy widm uzyskanych za pomocą MALDI-TOF/TOF (Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight/Time-of-Flight).

Wskazuje się, że mikroorganizmy fermentujące surowce roślinne hydrolizują wiązania peptydowe białek, modyfikując ich strukturę i właściwości, co zwiększa ich strawność i redukuje potencjał alergizujący (Alrosan i in., 2023).

Prezentowane w **P1** wyniki MALDI TOF/TOF wykazały wyraźne różnice w frakcji białkowo-peptydowej próbek fermentowanych w porównaniu z niefermentowanym surowcem, które nasilały się wraz z czasem fermentacji (po 12 i 48 h). Szczególnie wyraźna była degradacja białek o niższej masie cząsteczkowej ($\sim 10\text{ kDa}$) oraz peptydów w zakresie $6\text{--}8\text{ kDa}$. Zmiany obserwowane po 48 h wskazują na potencjalne modyfikacje prolaminy Len c3 ($\sim 9\text{ kDa}$), zaliczanej do nieswoistych białek przenoszących lipidy (nsLTP, non-specific lipid transfer proteins). Podobnie jak Len c1 (γ -wicylina, $\sim 50\text{ kDa}$) i Len c2 ($\sim 66\text{ kDa}$), Len c3 jest uznawany za istotny alergen (Akkerdaas i in, 2011; Finkina i in, 2020; López-Torrejón i in, 2003; Sánchez-Monge i in, 2000).

Warto zaznaczyć, że białka nsLTP występują powszechnie w surowcach roślinnych i pełnią istotne funkcje w transporcie cząsteczek hydrofobowych oraz lipidów pomiędzy błonami, uczestniczą w procesach kiełkowania i rozwoju roślin, a także w mechanizmach obrony przed patogenami oraz odpowiedzi na stres środowiskowy (Edstam i in, 2013; Fich i in, 2016; Nazeer i in, 2019; Renault i in, 2017). Jednocześnie stanowią one istotny czynnik alergii pokarmowych i wykazują wysoką odporność na obróbkę termiczną oraz działanie enzymów trawiennych (Palacín i in, 2012; Van Winkle i Chang, 2014). Z tego względu szczególnie istotne znaczenie mają badania nad możliwością ograniczenia potencjału alergizującego surowców roślinnych z wykorzystaniem procesów fermentacyjnych. Niemniej jednak wyniki przedstawione w pracy **P1** nie pozwalają jednoznacznie określić charakteru modyfikacji białek ani stopnia redukcji ich aktywności biologicznej, co wskazuje na potrzebę dalszych, pogłębionych badań ukierunkowanych na poznanie mechanizmów odpowiedzialnych za zmiany strukturalne białek alergicznych podczas fermentacji. Istotnym kierunkiem przyszłych badań pozostaje również identyfikacja i selekcja mikroorganizmów o pożądanym potencjale technologicznym, które

mogłyby zostać wykorzystane do optymalizacji redukcji alergenów w *Lens culinaris* oraz innych roślinach strączkowych.

Ad 2. Analiza dynamiki zmian składu mikrobiologicznego w czasie spontanicznej fermentacji soczewicy jadalnej oraz ocena możliwości wykorzystania tego procesu jako źródła nowych, potencjalnie funkcjonalnych izolatów bakterii kwasu mlekowego zdolnych do biosyntezy ryboflawiny

Rezultaty uzyskane w pracy **P1** stanowiły podstawę do pogłębionej analizy literatury oraz skłoniły do rozszerzenia badań nad dynamiką przemian mikrobiologicznych zachodzących podczas spontanicznej fermentacji *Lens culinaris* Medik., ze szczególnym uwzględnieniem bakterii fermentacji mlekowej. Ponadto, w świetle aktualnych doniesień naukowych, szczególne zainteresowanie wzbudziły we mnie kwestie dotyczące wpływu spontanicznej fermentacji na bioaktywność matrycy pochodzącej z roślin strączkowych (soczewicy), obejmujące m.in. powstawanie peptydów bioaktywnych oraz biosyntezę ryboflawiny (witaminy B₂).

Potrzeba skoncentrowania uwagi badawczej na ryboflawinie wynika z jej kluczowego znaczenia w diecie człowieka jako niezbędnego składnika pełniącego funkcję koenzymu w reakcjach oksydoredukcyjnych oraz uczestniczącego w metabolizmie węglowodanów, białek i tłuszczów (Suwannasom i in, 2020a). Ten biologicznie aktywny związek odgrywa również istotną rolę w prawidłowym funkcjonowaniu układu nerwowego, odpornościowego oraz pracy narządu wzroku (Lysne i Strandler, 2023). Niestety organizm człowieka nie ma zdolności syntezy ryboflawiny, dlatego jej podaż zależy wyłącznie od zawartości tej witaminy w produktach spożywczych, a tym samym od rodzaju i jakości stosowanej diety. Ponadto wskazuje się, że procesy technologiczne stosowane w produkcji żywności oraz obróbka kulinarna mogą prowadzić do strat ryboflawiny w surowcach i produktach finalnych (Hrubša i in, 2022).

Pomimo, że mikrobiota jelitowa wykazuje zdolność do syntezy omawianej witaminy, produkcja endogenna zazwyczaj nie zaspokaja pełnego zapotrzebowania organizmu, szczególnie w grupach podatnych na jej niedobory, do których należą kobiety w ciąży i karmiące, sportowcy, wegetarianie oraz weganie (Aragão i in, 2024). W związku z tym suplementacja witaminy B₂ oraz strategie wzbogacania żywności w ryboflawinę stanowią istotne działania prozdrowotne, odgrywające kluczową rolę w profilaktyce jej niedoborów oraz wspieraniu prawidłowego funkcjonowania organizmu.

Sugeruje się, że procesy fermentacyjne mogą przyczyniać się do wzbogacania żywności roślinnej w ryboflawinę już na etapie wstępnego przetwarzania surowca (Chen i in, 2022). Podejście to stanowi obiecującą strategię zarówno poprawy wartości odżywczej produktów roślinnych, jak i ich fortyfikacji *in situ* bez konieczności stosowania dodatków syntetycznych. Ponadto wskazuje się, że spontanicznie fermentowane surowce roślinne mogą stanowić cenne źródło rodzimych mikroorganizmów o znaczeniu

przemysłowym, a także przyczyniać się do poprawy wartości odżywczej i funkcjonalnej żywności roślinnej (Torres i in., 2020).

Wskazana przeze mnie tematyka oraz zaproponowana koncepcja badawcza spotkały się z zainteresowaniem zagranicznego ośrodka naukowego — Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali (DiSAAA-a), Università di Pisa (Włochy), co zaowocowało realizacją badań we współpracy międzynarodowej. Wyniki tych badań zostały przedstawione w kolejnej publikacji naukowej (**P2**), stanowiącej część osiągnięcia naukowego będącego podstawą postępowania habilitacyjnego.

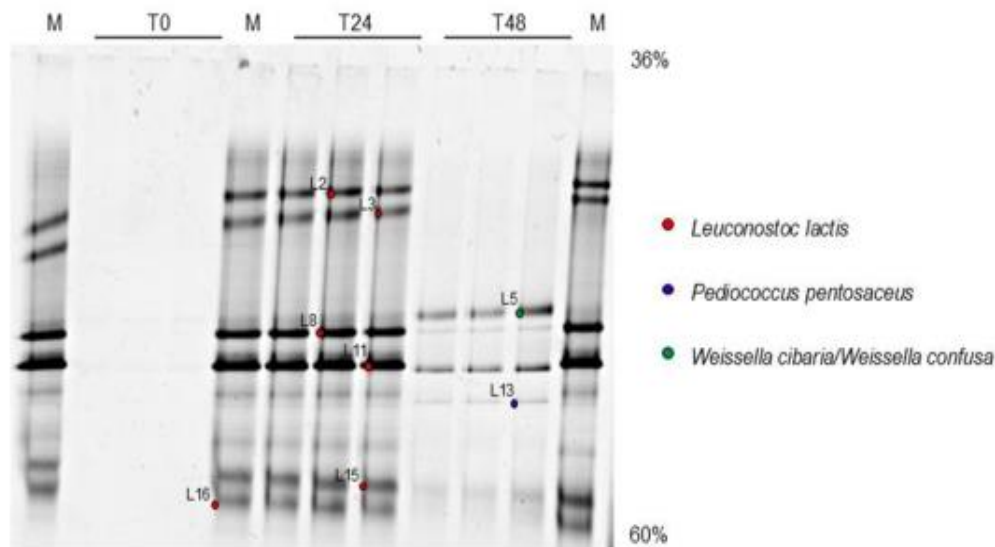
Dotychczas spontaniczna fermentacja jadalnej o czerwonych okrywach nasiennych była przedmiotem znacznie mniejszego zainteresowania badawczego w porównaniu z innymi roślinami strączkowymi, w szczególności soją, która jest bardzo szeroko opisywana w literaturze. Ponadto większość dostępnych badań koncentruje się na fermentacji substratów strączkowych z wykorzystaniem grzybów strzępkowych lub bakterii nienależących do LAB, natomiast spontaniczne procesy fermentacji, ze szczególnym uwzględnieniem fermentacji mlekowej, pozostają wciąż w znacznie mniejszym stopniu poznane (Xiao i in., 2021). Dodatkowo należy podkreślić, że spontaniczna fermentacja surowców pochodzących z nasion *Lens culinaris* Medik. pozostaje procesem w znacznym stopniu niedostatecznie scharakteryzowanym. Aktualny stan wiedzy dotyczący zachodzących w jej trakcie przemian biochemicznych, jak również dynamiki zmian profilu mikrobiologicznego, jest ograniczony i wymaga dalszych, pogłębionych badań. W szczególności dotyczy to zmian w naturalnej sukcesji mikrobiologicznej oraz roli autochtonicznego mikrobiomu w kształtowaniu właściwości funkcjonalnych surowców roślin strączkowych podczas fermentacji spontanicznej, które nadal pozostają otwartymi obszarami badawczymi wymagającymi pogłębionych analiz.

W tym kontekście **praca P2, dostarczając nowych informacji dotyczących dynamiki zmian profilu mikroorganizmów oraz potencjału funkcjonalnego soczewicy jadalnej o czerwonych okrywach nasiennych poddanej fermentacji spontanicznej (niekontrolowanej), uzupełnia istotną lukę poznawczą i ma charakter nowatorski.**

W publikacji **P2** przedstawiono wyniki analiz dotyczących różnorodności oraz zmian składu mikroorganizmów podczas spontanicznej fermentacji ekologicznej soczewicy jadalnej o czerwonych okrywach nasiennych (dostępnej na rynku polskim), ze szczególnym uwzględnieniem rodzimych bakterii kwasu mlekowego, badanych z wykorzystaniem reakcji łańcuchowej polimerazy połączonej z elektroforezą w gradiencie denaturującym (PCR-DGGE). **Uzyskane wyniki wykazały, że proces fermentacji istotnie wpływa na strukturę oraz różnorodność populacji bakteryjnej w analizowanym materiale.**

Otrzymane wartości indeksów bioróżnorodności potwierdziły dynamiczne zmiany zwłaszcza w profilu LAB w trakcie fermentacji. Po 24 h fermentacji stwierdzono dominację *Leuconostoc lactis*, *Bacillus subtilis* oraz *Lactococcus taiwanensis/lactis*. Natomiast po dwóch dniach trwania procesu

zaobserwowano istotne obniżenie liczebności *L. lactis*, któremu towarzyszył zwiększony udział *Weissella confusa/cibaria* oraz *Pediococcus pentosaceus* (Ryc. 2).



Ryc. 2. Wyniki molekularnej identyfikacji gatunków LAB uczestniczących w spontanicznej fermentacji soczewicy jadalnej o czerwonych okrywkach nasiennych w różnych odstępach czasu.

Objaśnienia: Numery wskazują sekwencjonowane fragmenty DNA, natomiast kolorowe kółka oznaczają przynależność do odpowiednich gatunków LAB (źródło: publikacja P2)

Warto zauważyć, że uzyskane wyniki częściowo korelują z danymi otrzymanymi przy wykorzystaniu Illumina NGS (Next-Generation Sequencing), przedstawionymi w publikacji P1. Jednocześnie zaobserwowano, że pomimo zastosowania tego samego surowca i próby odtworzenia podobnych warunków spontanicznej fermentacji, profile mikrobiologiczne po 48 h w obu badaniach wykazały pewne różnice, co podkreśla zmienność i niejednorodny charakter procesów niekontrolowanej fermentacji surowców roślinnych.

W pracy P2 wykazano, że wydłużony czas fermentacji, sprzyjający silniejszej acidyfikacji środowiska reakcji, faworyzował rozwój LAB o podwyższonej tolerancji na niskie pH, co znajduje odzwierciedlenie w obserwowanym wzroście liczebności bakterii z rodzaju *Weissella* w końcowej fazie procesu. Ponadto spontaniczna fermentacja prowadziła do statystycznie istotnego zwiększenia zawartości ryboflawiny (z $6,33 \pm 0,50 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ w surowcu niefermentowanym do $9,88 \pm 0,15 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ po 2 dniach fermentacji). Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują na istotny udział autochtonicznej mikrobioty oraz jej aktywności metabolicznej w procesie naturalnej biofortyfikacji matryc roślinnych w witaminę B₂.

Rezultaty badań zaprezentowane w pracy P2 wskazują na wysoki potencjał spontanicznej fermentacji jako metody zwiększania wartości odżywczej surowców roślinnych. Jednocześnie uzasadniają potrzebę dalszych badań ukierunkowanych na selekcję szczepów LAB zdolnych do

efektywnej biosyntezy ryboflawiny, co ma kluczowe znaczenie w projektowaniu funkcjonalnej żywności pochodzenia roślinnego, opartej na zróżnicowanych matrycach roślinnych.

Identyfikacja bakterii metodą MALDI-TOF MS z wykorzystaniem systemu Biotyper 3.0 potwierdziła wyniki uzyskane metodą PCR-DGGE, wskazując, że wszystkie izolaty pochodzące z fermentowanego materiału o najwyższej zawartości witaminy B₂ i wykazujące zdolność jej biosyntezy należały do gatunku *Weissella cibaria*. Uzyskane rezultaty są spójne z wynikami badań wstępnych (przedstawionych w pracy **P1**), w których — przy zastosowaniu alternatywnych metod identyfikacji — również wykazano obecność tego gatunku w *Lens culinaris* Medik. po dwóch dniach spontanicznej fermentacji.

Wyniki opisane w publikacji P2 wskazują na potencjał autochtonicznych bakterii *Weissella* jako naturalnych czynników podnoszących wartość prozdrowotną produktów otrzymywanych z nasion roślin strączkowych. Zdolność tych mikroorganizmów do syntezy ryboflawiny stanowi naukowe uzasadnienie konieczności kontynuacji badań nad możliwością ich szerszego zastosowania w procesach wzbogacania *in situ* w witaminę B₂ roślinnych wyrobów spożywczych. Jednocześnie należy podkreślić, że pełna ocena potencjału praktycznego zastosowania zidentyfikowanych izolatów wymaga pogłębionych badań, obejmujących m.in. szczegółową charakterystykę bakterii, analizę ich właściwości technologicznych oraz ocenę bezpieczeństwa i aktywności metabolicznej w różnych matrycach żywnościowych. Takie kompleksowe podejście jest niezbędne, aby w pełni scharakteryzować i wykorzystać potencjał autochtonicznych szczepów *Weissella* w opracowywaniu nowych kultur starterowych, rozwoju funkcjonalnych produktów roślinnych oraz projektowaniu innowacyjnych strategii biofortyfikacji.

Kolejnym istotnym rezultatem opisanym w pracy **P2** była identyfikacja sekwencji peptydowych z zastosowaniem techniki nanoLC-TIMS-MS/MS, wsparta analizą bioinformatyczną. Wykazano, że podczas spontanicznych przemian powstają nowe peptydy, w tym sekwencje o potencjalnej aktywności biologicznie czynnej. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że **po dwóch dniach fermentacji zidentyfikowano łącznie 27 nowych sekwencji peptydowych, nieobecnych w próbce kontrolnej. Dodatkowo obecność potencjalnie bioaktywnych peptydów, takich jak VAINGFGR oraz LIKIDCLGHGETDAPLNGKR, potwierdzono zarówno po 24 h, jak i po 48 h fermentacji.** Z kolei potencjalnie bioaktywna sekwencja WESEHVKQWEK występowała wyłącznie po 24 h, natomiast CAGFINKRFDNR – jedynie po 48 h fermentacji. Należy przy tym podkreślić, że żaden z tych peptydów nie został wykryty w surowcu niefermentowanym. Sugeruje to, że spontaniczna fermentacja nasion roślin strączkowych może stanowić naturalną strategię zwiększania wartości prozdrowotnej tych surowców poprzez generowanie peptydów o potencjalnej aktywności biologicznej. Należy jednak podkreślić, że pomimo wskazań na potencjalne właściwości prozdrowotne zidentyfikowanych peptydów, niezbędne są dalsze badania eksperymentalne w celu potwierdzenia ich rzeczywistej aktywności biologicznej oraz efektów funkcjonalnych w układach *in vivo*.

W kolejnym etapie badań przeprowadzono analizy mające na celu określenie zmian profilu aminokwasowego w fermentowanym surowcu. Interesującym wynikiem było stwierdzenie obniżonej zawartości wolnych aminokwasów po fermentacji, co może wynikać z ich wykorzystania przez drobnoustroje w procesach metabolicznych. Warto podkreślić, że literatura naukowa wskazuje na zróżnicowany wpływ fermentacji na zawartość aminokwasów w surowcach roślin strączkowych, gdyż w różnych badaniach obserwuje się zarówno wzrost, jak i obniżenie ich stężenia (Adebo i in, 2022a; Difo i in, 2014; Kumitch i in, 2020). W dyskusji przeprowadzonej w pracy **P2** wskazano, że rozbieżności te najprawdopodobniej wynikają z różnic w poszczególnych parametrach przebiegających bioprocessów takich jak warunki tlenowe versus beztlenowe, czas trwania fermentacji, temperatura oraz ze zmienności pierwotnego konsorcjum mikrobiologicznego oraz właściwości fizykochemicznych surowca wyjściowego (w tym początkowej zawartości aminokwasów, rozpuszczalności białek i ich struktury molekularnej). Ponadto w publikacji **P2** wykazano, że spontaniczna fermentacja soczewicy obniżyła stężenie aminokwasów odpowiedzialnych za powstawanie gorzkiego smaku, przy czym najniższe poziomy tyrozyny (Tyr), histydyny (His) i izoleucyny (Ile) odnotowano po 48 h procesu. Wyniki te sugerują, że fermentacja spontaniczna modyfikuje profil aminokwasowy *Lens culinaris* Medik. w sposób mogący korzystnie wpływać zarówno na percepcję sensoryczną produktu, jak i jego właściwości funkcjonalne.

Podsumowując rezultaty badań przedstawione w pracach **P1** i **P2** można stwierdzić, iż mają one istotną wartość poznawczą i aplikacyjną, stanowią bowiem pierwszą charakterystykę profilu bakterii rozwijających się w ciągu 48 h spontanicznej fermentacji ekologicznej soczewicy jadalnej o czerwonych okrywach nasiennych. Praca **P2** wykazuje, że autochtoniczna mikrobiota nie tylko może zwiększać poziom witaminy B₂ w fermentowanym materiale roślinnym (*in situ*), ale także modyfikuje profil aminokwasowy, redukując aminokwasy odpowiedzialne za gorzki smak, oraz generuje nowe, potencjalnie bioaktywne peptydy. Świadczy to o istotnym wpływie badanego procesu oraz roli rodzimych drobnoustrojów na wartość odżywczą i zdrowotną surowca roślinnego. Dodatkowo detekcja nowych izolatów *Weissella cibaria*, zdolnych do biosyntezy ryboflawiny, otwiera możliwości tworzenia zdefiniowanych kultur starterowych, szczególnie dedykowanych surowcom pochodzącym z nasion roślin strączkowych i wdrażania ukierunkowanych procesów fermentacyjnych.

Opublikowane w pracy P2 wyniki badań mogą zatem stanowić istotny fundament rozwoju nowoczesnych, zrównoważonych i wydajnych procesów biotechnologicznych w produkcji żywności funkcjonalnej. W związku z tym planowane są dalsze badania nad właściwościami technologicznymi i prozdrowotnymi wyizolowanych bakterii, które pozwolą ocenić ich rzeczywisty potencjał aplikacyjny w przemyśle spożywczym oraz w opracowaniu innowacyjnych, ukierunkowanych strategii biofortyfikacji produktów roślinnych.

Ad 3. Badanie wpływu kontrolowanej fermentacji prowadzonej przy udziale probiotycznego szczepu bakterii (*Lactiplantibacillus plantarum* 299v) na zmiany zawartości wybranych składników antyodżywczych i związków biologicznie czynnych w *Lens culinaris* Medik.

W oparciu o wyniki przedstawione w publikacjach **P1** i **P2** podjęto decyzję o rozszerzeniu badań nad fermentacją surowców roślin strączkowych o procesy kontrolowane (fermentację kierowaną) z wykorzystaniem wyselekcjonowanego szczepu bakterii. Ten kierunek badań jest szczególnie istotny w kontekście współczesnej technologii żywności, w której kluczowe znaczenie mają bezpieczeństwo zdrowotne wyrobów, powtarzalność procesów oraz stabilność jakości produktów końcowych. Niemniej jednak fermentacje spontaniczne - prowadzone bez inokulacji poprzednią partią produktu (tzw. backslopping) oraz bez udziału komercyjnych kultur starterowych — nadal stanowią powszechną praktykę, odgrywając istotną rolę w rozwoju produkcji żywności. Stanowią one naturalne źródło autochtonicznych drobnoustrojów, których selekcja i szczegółowa charakterystyka mogą umożliwić ich wykorzystanie w przemysłowych, kontrolowanych procesach fermentacyjnych. Podejście to pozwala łączyć tradycyjne metody z nowoczesnymi strategiami projektowania żywności funkcjonalnej o wysokiej wartości biologicznej i potencjale prozdrowotnym (co potwierdzają również wyniki badań przedstawione w pracy **P2**). Należy jednak zaznaczyć, że procesy spontaniczne zachodzą w środowisku złożonych i wysoce różnorodnych konsorcjów mikroorganizmów, obejmujących zarówno drobnoustroje technologicznie pożądane, jak i potencjalnie patogenne. Taka różnorodność mikrobioty może prowadzić do heterogeniczności cech organoleptycznych i biochemicznych produktów końcowych oraz zwiększać ryzyko zagrożeń zdrowotnych. W związku z tym, aby uzyskać produkty spożywcze o powtarzalnej jakości i wysokim poziomie bezpieczeństwa mikrobiologicznego, niezbędne jest stosowanie fermentacji kierowanej, w której skład gatunkowy mikrobiomu jest dokładnie scharakteryzowany (wykorzystywane są wyłącznie wyselekcjonowane szczepy), a parametry procesu są ściśle kontrolowane (Bokulich i in, 2016; Mudoor Sooresh i in, 2023). Ponadto, w przeciwieństwie do fermentacji spontanicznej, fermentacja kontrolowana umożliwia sterowanie procesem w sposób zapewniający wyższy poziom optymalizacji i wydajności produkcji (Skowron i in, 2022). Kolejnym etapem rozwoju tego procesu i zastosowaniu m. in. w technologii żywności jest tzw. fermentacja precyzyjna, będąca zaawansowaną strategią biotechnologiczną opartą m.in. na zastosowaniu narzędzi inżynierii molekularnej oraz ścisłej kontroli parametrów procesowych. Metoda ta umożliwia projektowanie i optymalizację biosyntezy określonych związków o wysokiej wartości prozdrowotnej, przy jednoczesnej minimalizacji negatywnego wpływu procesu produkcyjnego na środowisko (Agency, 2025; Hilgendorf i in, 2024a; Pereira i in, 2025). Procesy te uznawane są za przełomową technologię, umożliwiającą wdrażanie innowacyjnych strategii pozyskiwania alternatywnych źródeł białka oraz oferującą szerokie możliwości optymalizacji jakości, wydajności i funkcjonalności wytwarzanych produktów (Hilgendorf i in, 2024b; Nielsen i in, 2024).

Jednym z wiodących ośrodków badawczych zajmujących się opracowywaniem i wdrażaniem nowoczesnych technologii produkcji żywności opartej na roślinach strączkowych oraz innowacyjnym wykorzystaniem białek roślinnych jest Washington State University (WSU) w Pullman w USA. Region Palouse, w którym zlokalizowana jest uczelnia, należy do kluczowych obszarów upraw grochu (*Pisum sativum*), soczewicy (*Lens culinaris*) oraz ciecierzycy (*Cicer arietinum*) w Stanach Zjednoczonych. Obszar ten charakteryzuje się wieloletnią tradycją produkcji roślin strączkowych oraz rozwiniętymi programami badawczo-hodowlanymi realizowanymi m.in. w WSU (Umani i in, 2024).

Ze względu na wiodącą pozycję WSU w zakresie badań nad technologią surowców roślin strączkowych, alternatywnymi źródłami białka oraz opracowywaniem innowacyjnych produktów roślinnych (w tym roślinnych wyrobów ekstrudowanych oraz analogów mięsa) instytucja ta została wybrana jako miejsce realizacji mojego stażu naukowego.

Zaproponowana przeze mnie tematyka oraz plan analiz dotyczących wpływu fermentacji kontrolowanej na zmiany zawartości wybranych składników antyodżywczych i związków biologicznie czynnych w surowcach roślin strączkowych spotkały się z zainteresowaniem zespołu badawczego WSU. Umożliwiło to nawiązanie współpracy oraz realizację badań w zagranicznym ośrodku, a także zdobycie doświadczenia w zespole realizującym projekty finansowane przez USDA National Institute of Food and Agriculture, w tym Sustainable Agricultural Systems (SAS Program, Award No. 2021–68012-35955) oraz Hatch Project (Accession No. 1016366, United States Department of Agriculture). Jednym z rezultatów przeprowadzonych prac badawczych jest publikacja (**P3**) wchodząca w skład osiągnięcia naukowego, stanowiącego element dorobku będącego podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.

Uzasadnieniem wyboru bakterii *Lactiplantibacillus plantarum* 299v (dawniej *Lactobacillus plantarum*) jako kultury startowej (starterowej) w badaniach opublikowanych w pracy **P3** były jego liczne, potwierdzone właściwości probiotyczne (Aljohani i in, 2025). Profil metaboliczny tego szczepu jest dobrze poznany, a jego status GRAS (ang. Generally Recognized as Safe) potwierdza bezpieczeństwo stosowania w żywności. Omawiany szczep wykazuje także zdolność do adherencji do nabłonka jelitowego i należy do najlepiej przebadanych bakterii probiotycznych. Badania kliniczne potwierdzają ponadto, że suplementacja *L. plantarum* 299v może poprawiać stan odżywienia organizmu, wspierać terapię zespołu jelita drażliwego (IBS) oraz działać profilaktycznie wobec biegunek wywołanych zakażeniem *Clostridium difficile* podczas antybiotykoterapii (Kaźmierczak-Siedlecka i in, 2020; Moeen-Ul-Haq i in, 2022). W związku z tym wzrasta znaczenie badań nad potencjałem *Lactobacillus plantarum* 299v w tworzeniu innowacyjnych półproduktów o podwyższonej wartości prozdrowotnej i technologicznej. Dlatego też, w zaplanowanych analizach (prezentowanych w publikacji **P3**) skoncentrowano się na zastosowaniu tego szczepu w procesie fermentacji mąki z zielonej soczewicy (soczewicy o zielonych okrywach nasiennych), co umożliwiło eksperymentalną weryfikację jego właściwości funkcjonalnych w kontekście opracowywania nowych półproduktów do produkcji żywności roślinnej.

Badania opisane w publikacji wypełniają dostrzegalną lukę poznawczą w dyscyplinie technologii żywności i żywienia, dotyczącą ograniczonej liczby prac nad zastosowaniem dobrze scharakteryzowanych szczepów probiotycznych (takich jak *L. plantarum* 299v), w kontrolowanej fermentacji mąk z roślin strączkowych, umożliwiającej precyzyjne kształtowanie ich właściwości żywieniowych i technologicznych. Jednocześnie odpowiadają na rosnące zapotrzebowanie na półprodukty roślinne o podwyższonej wartości prozdrowotnej oraz korzystnych właściwościach funkcjonalnych, istotnych z punktu widzenia zastosowań przemysłowych.

Zaplanowane analizy miały na celu ocenę wpływu probiotycznego szczepu na właściwości technologiczne fermentowanego produktu, istotne dla żywności nowej generacji, a także na poziom wybranych czynników antyodżywczych (ANFs), zawartość związków bioaktywnych i właściwości antyoksydacyjne mąki z soczewicy.

Surowcem wyjściowym do produkcji mąki była rodzima odmiana soczewicy (*Lens culinaris* Medik.) Pardina, dostarczona przez współpracującą z WSU firmę George D. Brocke i Sons Co. (Kendrick, ID, USA). Uzyskana w laboratorium mąka, przed inokulacją probiotycznym szczepem, była uprzednio poddana procesowi pasteryzacji (w celu dezaktywacji wegetatywnych form autochtonicznych mikroorganizmów). Fermentację prowadzono w warunkach sterylnych, beztlenowych, w ciemności oraz przy kontrolowanej temperaturze i wilgotności. Po zakończeniu procesu materiał poddano pasteryzacji (w celu zahamowania aktywności mikrobiologicznej), a następnie liofilizacji, rozdrobieniu i przesiewaniu przez sito o średnicy oczek 0,5 mm, uzyskując próbki po 6 h (F6), 12 h (F12) i 24 h (F24) fermentacji.

Wyniki przedstawione w publikacji **P3** wykazały, że fermentacja kontrolowana z udziałem analizowanego szczepu prowadziła do stopniowego obniżenia zawartości skrobi oraz wzrostu stężenia białka w mąkach z soczewicy po 6 h i 12 h (F6 i F12) w porównaniu z kontrolą niefermentowaną. Odnotowane obniżenie zawartości skrobi w fermentowanych mąkach wynikało z degradacji węglowodanów wykorzystywanych przez mikroorganizmy jako źródło energii do syntezy własnych białek i aminokwasów, co w połączeniu z produkcją mikrobiologicznej biomasy oraz proteolizą białek do aminokwasów i peptydów prowadziło do wzrostu całkowitej zawartości azotu w produkcie (Adebo i in, 2022b; Kryachko i in, 2025; Senanayake i in, 2023b). Ponadto analiza profili białkowych otrzymanych za pośrednictwem elektroforezy SDS-PAGE (elektroforeza w żelu poliakrylamidowym w obecności dodecylsiarczanu sodu) wykazała znaczące zmiany frakcji białkowych w fermentowanych mąkach, co było szczególnie widoczne w wariancie F24. Obserwacje te potwierdziła również mikrofluidowa elektroforeza SDS-PAGE, wskazując na zmiany w zakresie mas cząsteczkowych 3,5–46 kDa. Zaobserwowane modyfikacje były najprawdopodobniej wynikiem aktywności proteolitycznej szczepu w trakcie inkubacji, przy czym zastosowane procesy termiczne (pasteryzacja, liofilizacja) mogły dodatkowo wpływać na przekształcenia frakcji białkowych w analizowanych wariantach mąki.

Warto zwrócić uwagę, że enzymatyczna hydroliza białek roślinnych, szczególnie w surowcach zbożowych i strączkowych, może przyczyniać się do redukcji ich właściwości alergicznych. Jak wskazuje literatura, głównymi alergenami soczewicy są wicylina o masie cząsteczkowej ok. 47 kDa (Len c 1) oraz biotynylowane białko ok. 66 kDa (Len c 2) (Halima i in., 2022). Wyniki analiz prezentowane w publikacji **P3** wykazały zmiany w zakresie tych mas cząsteczkowych w mąkach F12 i F24, co może sugerować potencjalne obniżenie alergenicności surowca, choć potwierdzenie tej hipotezy wymaga dalszych badań immunologicznych.

Dodatkowo, produkty poddane fermentacji wykazywały wyższą zawartość błonnika nierozpuszczalnego (IDF), z wyjątkiem wariantu F24, w porównaniu do układu kontrolnego. Wzrost tej frakcji błonnika wynikał prawdopodobnie z obecności w surowcu składników, takich jak hemicelulozy, lignina i celuloza, które są bardziej odporne na zmiany zachodzące podczas fermentacji, podczas gdy błonnik rozpuszczalny (SDF) ulegał w tym czasie bardziej intensywnym przemianom. Ponadto, jak wskazują Cantu-Jungles i in. (2021), aktywność enzymatyczna niektórych szczepów bakteryjnych może prowadzić do modyfikacji frakcji SDF, skutkując powstawaniem metabolitów pośrednich sprzyjających jej częściowej konwersji do frakcji IDF. Należy podkreślić, że zmiany te mogą mieć istotne znaczenie zdrowotne, ponieważ IDF skuteczniej obniża przewidywany indeks glikemiczny (pGI) oraz w większym stopniu wspiera rozwój korzystnej mikrobioty jelitowej w porównaniu z frakcją SDF (Lv i in, 2022; Oh i in, 2014). Sugeruje to, że otrzymane z *Lens culinaris* Medik mąki, fermentowane przy użyciu szczepu *L. plantarum* 299v, mogą stanowić wartościowy składnik żywności funkcjonalnej.

Warto również podkreślić, że sypka forma uzyskanych produktów fermentowanych mogłaby umożliwić ich szerokie zastosowanie w różnych sektorach przemysłu spożywczego. Ze względu na łatwość dozowania oraz możliwość łączenia z innymi surowcami, fermentowane mąki z soczewicy mogą stanowić wszechstronny komponent w produkcji żywności o właściwościach prozdrowotnych, zarówno w skali przemysłowej, jak i w warunkach gospodarstw domowych.

Istotnym aspektem rezultatów opublikowanych w pracy P3 jest potwierdzenie skuteczności prowadzenia kontrolowanej fermentacji z udziałem probiotycznego szczepu *L. plantarum* 299v jako metody ukierunkowanej na jednoczesną redukcję składników antyodżywczych oraz modulowanie zawartości związków biologicznie czynnych w *Lens culinaris* Medik. Podejście to ma charakter nowatorski i w większym stopniu może wspierać prozdrowotny potencjał otrzymanych produktów w porównaniu z tradycyjnymi metodami obróbki surowców roślinnych. Ponadto, wyniki analiz właściwości technologicznych potwierdziły potencjał aplikacyjny uzyskanych wariantów mąki z soczewicy.

Uzyskane rezultaty wykazały, że czas fermentacji mąki nie wpłynął istotnie na zmiany zdolności do zatrzymywania wody (WHC), natomiast fermentowane warianty charakteryzowały się nieco niższymi zdolnościami do wiązania i zatrzymywania oleju w swojej strukturze (OHC), tzw. olejochłonność co najprawdopodobniej wynikało z modyfikacji struktury białek pod wpływem aktywności enzymatycznej bakterii (Romano i in, 2021). **Fermentowane warianty wykazywały niższe**

wartości wskaźnika rozpuszczalności w wodzie (WSI) przy jednoczesnym wzroście wskaźnika absorpcji wody (WAI). Obserwowano również obniżenie aktywności emulgującej (EA) w porównaniu z próbą kontrolną, jednak zmiany te nie były statystycznie istotne ($p > 0,05$).

W porównaniu z układem kontrolnym stabilność emulsji (ES) była niższa we wszystkich fermentowanych wariantach (z najwyższą wartością odnotowaną dla F24). Zaobserwowane zmiany w EA i ES mogły wynikać z agregacji białek oraz ich interakcji z produktami ubocznymi fermentacji, ograniczającymi hydrofobowe oddziaływania z olejem (García Arteaga i in., 2022). Ponadto, **właściwości pianotwórcze, obejmujące zdolność pianotwórczą (FC, foam capacity) oraz stabilność piany (FS, foam stability), ulegały zróżnicowanym zmianom w zależności od czasu fermentacji.** Warto zauważyć, że mąka F6 wykazywała istotnie wyższy poziom FC niż niefermentowana mąka. Garrido-Galand i in. (2021) sugerują, że zachodzące w surowcu podczas fermentacji przemiany mogą indukować zmiany elektrostatyczne w cząsteczkach białek, co umożliwia tworzenie grubych warstw wokół pęcherzyków powietrza i redukcję napięcia powierzchniowego, zwiększając zarówno FC, jak i FS. Z kolei proteoliza zachodząca podczas fermentacji może obniżać poziom FC, co tłumaczy obserwowane w badaniu zróżnicowane efekty fermentacji na właściwości pianotwórcze mąk z soczewicy. Jednoznaczne tendencje zmian wartości tych parametrów w literaturze nie są jednak dokładnie wskazane, co uzasadnia potrzebę pogłębionych badań w tym zakresie.

Innymi istotnymi parametrami technologicznymi, determinującymi zastosowanie określonego rodzaju mąki w przemyśle spożywczym, są jej właściwości termiczne oraz właściwości żelujące (profil kleikowania). Stanowią one ważne wskaźniki zachowania mąki w procesach technologicznych, takich jak gotowanie, pieczenie czy produkcja półproduktów spożywczych. Profil kleikowania, opisujący zmiany lepkości podczas podgrzewania i chłodzenia, pozwala określić maksymalną lepkość, temperaturę żelowania oraz stabilność termiczną skrobi, co ma istotne znaczenie dla kształtowania tekstury i konsystencji produktów końcowych. Z kolei określenie temperatury i entalpii przemian skrobiowych umożliwia efektywną optymalizację procesów obróbki cieplnej oraz zachowanie odpowiedniej jakości żywieniowej wytwarzanych produktów (Park i in., 2021; Wei i in., 2022).

W związku z powyższym uznano za zasadne zbadanie opisanych wyżej cech w otrzymanych wariantach mąki z soczewicy. Poszczególne parametry termiczne określono za pomocą różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC), natomiast profil żelowania analizowano przy użyciu aparatu ViscoQuick.

Wyniki analiz właściwości termicznych wykazały, że proces fermentacji nie wpływał istotnie na zdolność żelowania badanych mąk. Ponadto nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic ($p > 0,05$) między analizowanymi wariantami pod względem temperatury żelowania, przy czym najwyższą wartość odnotowano dla mąki F24.

Najwyższą maksymalną lepkość (PV, peak viscosity) wykazywała mąka F12, nie różniąc się istotnie od F6, natomiast mąka F24 charakteryzowała się najniższą wartością tego parametru. Warto

podkreślić, że wyższa wartość PV oznacza większą zdolność mąki do zatrzymywania wody i tworzenia gęstych, kremowych struktur po obróbce cieplnej.

Zaobserwowano również, że zastosowana fermentacja obniżyła wartość parametru HV (holding viscosity), który określa odporność skrobi na degradację cieplną. Redukcja HV była prawdopodobnie spowodowana wyższym stężeniem kwasów organicznych powstających podczas kontrolowanej fermentacji oraz rozkładem skrobi i modyfikacją białek. W pracy **P3** wskazano również, że wzrost parametru PV po 6 h i 12 h trwania procesu wynikał z modyfikacji struktur skrobi i białek, zwiększających zdolność zatrzymywania wody i wpływających na przebieg procesu żelowania oraz lepkość produktów po obróbce termicznej.

Niezwykle interesujące okazały się także wyniki oznaczeń zawartości poszczególnych substancji antyodżywczych.

Największą redukcję skondensowanych tanin (CTC, condensed tannin content) zanotowano w mące F24, gdzie wartość w stosunku do kontroli była niższa o około 26%. Podobnie poziom kwasu fitynowego (PA, phytic acid) ulegał znaczącej redukcji wraz ze wzrostem czasu kontrolowanej fermentacji. Obniżenie poziomu tego składnika antyodżywczego w fermentowanym surowcu jest najprawdopodobniej efektem aktywności bakteryjnych fitaz, które są zdolne do hydrolizy fitynianów do nieorganicznych ortofosforanów (Gupta i in., 2015). Biorąc również pod uwagę termolabilność PA można przypuszczać, że wstępna obróbka cieplna, taka jak pasteryzacja przeprowadzona przed inokulacją surowca szczepem probiotycznym, także mogła przyczynić się do obniżenia poziomu tej substancji antyodżywczej (Castro-Alba i in, 2019). Warto podkreślić, iż po 24 h prowadzenia procesu poziom PA został obniżony o 57,8%.

Wyniki analizy wykazały również, że czas fermentacji istotnie wpływał na obniżenie aktywności inhibitora tripsyny (TIA, trypsin inhibitor activity) w mące z soczewicy, przy czym największą redukcję w stosunku do wariantu kontrolnego (zmniejszenie o 13,7%) odnotowano w mące F24.

Dodatkowo stwierdzono ujemną korelację między czasem prowadzenia kontrolowanej fermentacji a zawartością CTC, PA oraz TIA w badanych mąkach, przy współczynnikach korelacji Pearsona wynoszących odpowiednio $r=-0,880$; $r=-0,853$; $r=-0,706$.

Z kolei wyniki analiz poziomu związków bioaktywnych wykazały, że czas prowadzonego procesu wpływał negatywnie na ogólną zawartość związków polifenolowych (TPC), z wyjątkiem wariantu F12, który osiągnął najwyższy poziom TPC spośród wszystkich badanych mąk ($6,70 \pm 0,40$ mg GAE/g s.m.). Wzrost TPC w ciągu pierwszych 12 h procesu prawdopodobnie wynikał z hydrolizy złożonych związków fenolowych do form wolnych w trakcie logarytmicznego wzrostu bakterii oraz ich intensywnej aktywności metabolicznej (Šalić i Šamec, 2022). Natomiast dalsza redukcja zawartości tych związków bioaktywnych w trakcie kontrolowanej fermentacji, jak sugerują Towo i in. (2006), może być efektem modyfikacji struktury polifenoli spowodowanej obniżeniem poziomu pH.

Spośród wszystkich fermentowanych wyrobów najwyższym stężeniem flawonoidów odznaczał się wariant F6. Jednocześnie wykazano silną ujemną korelację między czasem prowadzonej fermentacji

kontrolowanej a zawartością badanych związków ($r=-0,913$). Jak wskazano w dyskusji przeprowadzonej w pracy **P3**, obniżenie zawartości tych bioaktywnych składników można tłumaczyć aktywnością bakteryjnej β -glukozydazy, która podczas fermentacji tworzy kompleksy z flawonoidami, prowadząc do redukcji ich stężenia w macierzy fermentowanej żywności (Knez i in., 2023). Pomimo obniżenia stężenia w porównaniu z próbą kontrolną, poziom badanych substancji bioaktywnych w mąkach fermentowanych pozostawał relatywnie wysoki. Spośród wszystkich analizowanych wariantów mąki najwyższą zdolność do wychwytu wolnych rodników wykazywała próbka F6 ($79,23 \pm 2,08\%$ inhibicji DPPH \cdot). Jednocześnie analiza statystyczna wykazała ujemną korelację między czasem prowadzonego procesu fermentacji (kontrolowanej) a aktywnością antyoksydacyjną mąki z soczewicy ($r = -0,546$).

W analizie poziomu siły redukcji (RP, reducing power) zaobserwowano, iż w ciągu pierwszych 6 h prowadzonego procesu nastąpił wzrost wartości mierzonego parametru, po czym po kolejnych 6 h odnotowano jego obniżenie. Interesujące jest to, że po kolejnych 12 h, w wariancie F24 wartości RP ponownie wzrosły. Jak wskazują Lin i in., (2006) takie wahania wynikają najprawdopodobniej ze złożonej aktywności enzymatycznej bakterii oraz biochemicznych przekształceń poszczególnych składników mąki podczas zachodzącego procesu fermentacji kontrolowanej. Dodatkowo, zmiany RP mogą także odzwierciedlać zmienność aktywności metabolicznej szczepu probiotycznego w trakcie trwania procesu. Ponadto reakcje enzymatyczne zachodzące podczas fermentacji mogły prowadzić do powstawania związków redukujących, zdolnych do neutralizacji wolnych rodników, przerywania łańcuchowych reakcji rodnikowych oraz zwiększania wartości RP.

Wyniki pracy **P3** sugerują, że fermentowana mąka z soczewicy ozielonych okrywach nasiennych, uzyskana przy udziale probiotycznego szczepu *L. plantarum* 299v, może stanowić innowacyjny i perspektywiczny surowiec w produkcji funkcjonalnych, roślinnych produktów spożywczych. W kontekście rozwoju nowych wyrobów prozdrowotnych, analizowany proces fermentacji jawi się jako efektywna strategia modyfikacji właściwości technologicznych i odżywczych surowca, a także jako obiecujące narzędzie do redukcji substancji antyodżywczych, sprzyjające poprawie strawności białek oraz zwiększeniu wartości odżywczej i funkcjonalnej produktów końcowych.

Ad 4. Opracowanie i charakterystyka nowych produktów spożywczych oraz innowacyjnych, funkcjonalnych dodatków do żywności otrzymanych z surowców pochodzących z nasion roślin strączkowych, fermentowanych przy udziale *L. plantarum* 299v.

Dynamiczny wzrost zainteresowania alternatywnymi źródłami białka oraz innowacyjnymi produktami roślinnymi, w tym analogami mięsa, odzwierciedla istotne zmiany w preferencjach konsumenckich, co wymusza poszukiwanie nowych strategii w produkcji żywności. W tym kontekście rośliny strączkowe zyskują szczególne znaczenie jako bogate źródło białka i związków bioaktywnych, których regularne spożycie może istotnie zmniejszać ryzyko występowania chorób cywilizacyjnych,

w tym m.in. cukrzycy, nowotworów, otyłości oraz schorzeń układu krwionośnego (Cichońska i Ziarno, 2022; Cuevas-Rodríguez i in, 2025b; Hertzler i in, 2020; Xiao i in, 2015). Sugeruje się ponadto, że składniki zawarte w nasionach roślin strączkowych, poprzez hamowanie aktywności lipazy trzustkowej, mogą skutecznie wspierać profilaktykę i leczenie wielu zaburzeń zdrowotnych (Grdeń i Jakubczyk, 2023).

Wskazuje się, że produkty oparte na roślinach strączkowych mogą stanowić odpowiednią matrycę i nośnik dla bakterii probiotycznych, będąc atrakcyjną alternatywą dla wyrobów mlecznych, zwłaszcza dla osób z nietolerancją laktozy, alergią na białka mleka krowiego oraz dla konsumentów stosujących dietę wegetariańską lub wegańską (Cichońska i Ziarno, 2022; Petrušáková i Valík, 2015). Tymczasem fermentacja mlekowa napojów pozyskiwanych na bazie roślin strączkowych w Europie pozostaje wciąż praktycznie nieznaną, a jej potencjał funkcjonalny i technologiczny wciąż wymaga pełniejszego poznania.

W odpowiedzi na wskazane wyzwania oraz rosnące zainteresowanie konsumentów żywnością o właściwościach prozdrowotnych podjęto badania ukierunkowane na ocenę możliwości otrzymywania nowych napojów na bazie nasion roślin strączkowych, poddanych fermentacji z udziałem bakterii probiotycznych. W otrzymanych produktach przeprowadzono analizę wybranych właściwości funkcjonalnych, co pozwoliło na wskazanie perspektywicznego kierunku w projektowaniu innowacyjnych wyrobów pochodzenia roślinnego. Dodatkowym impulsem do podjęcia niniejszych badań były obiecujące wyniki analiz pilotażowych dotyczących napojów smakowych otrzymanych na bazie nasion ciecierzycy, opublikowane w artykule: Skrzypczak, K., Jabłońska-Ryś, E., Gustaw, K., Sławińska, A., Waško, A., Radzki, W., Michalak-Majewska, M., i Gustaw, W. (2019). Reinforcement of the antioxidative properties of chickpea beverages through fermentation carried out by probiotic strain *Lactobacillus plantarum* 299v. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 13(1), 1–12. <https://doi.org/10.22207/JPAM.13.1.0>.

W ramach badań przedstawionych w publikacji **P4** opracowano różnorodne warianty napojów na bazie wybranych roślin strączkowych (ekologiczne nasiona ciecierzycy, soczewicy o zielonych okrywkach nasiennych oraz soczewicy o czerwonych okrywkach nasiennych), które następnie poddano fermentacji (kontrolowanej) przy użyciu probiotycznego szczepu *L. plantarum* 299v. W powstałych produktach analizowano wybrane właściwości funkcjonalne, obejmujące m.in. porównanie stężenia błonnika pokarmowego, poziomu aktywności antyoksydacyjnej oraz zdolności do chelatowania jonów metali. Dodatkowo oceniono wpływ zastosowanego procesu biotechnologicznego na zmiany w profilach peptydowych surowców, z identyfikacją potencjalnych sekwencji peptydów biologicznie czynnych.

Wyniki badań przedstawione w pracy **P4** jednoznacznie wykazały, że analizowane surowce roślinne stanowią wyjątkowo obiecującą matrycę żywnościową do prowadzenia kontrolowanej fermentacji z zastosowaniem wybranego szczepu bakterii.

Interesujące okazały się m. in. obserwacje dotyczące kwasowości czynnej produktów finalnych uzyskanych po trzeciej dobie fermentacji kontrolowanej (finalne produkty). Charakteryzowały się one wyższymi wartościami tego parametru ($\text{pH} > 4,5$) w porównaniu z tradycyjnymi, powszechnie znanymi w Polsce fermentowanymi produktami warzywnymi, takimi jak ogórki kiszone czy kapusta kiszona. Należy tu podkreślić, że wartość pH fermentowanych wyrobów na bazie roślin strączkowych nie jest determinowana wyłącznie zakwaszającą aktywnością bakterii kwasu mlekowego ani stężeniem kwasów organicznych. Istotne znaczenie ma również aktywność bakteryjnych systemów proteolitycznych oraz złożone przemiany biochemiczne zachodzące podczas fermentacji, prowadzące do uwalniania z natywnych białek surowca związków o charakterze alkalizującym, które dynamicznie modyfikują środowisko fermentacyjne (Anal, 2019).

W pracy **P4** wykazano, że wydłużenie czasu procesu kontrolowanej fermentacji we wszystkich analizowanych napojach istotnie obniżało całkowitą zawartość ekstraktu (TEC), co ma znaczenie z punktu widzenia kontroli jakości oraz projektowania procesów produkcyjnych, w tym doboru surowca pod kątem uzyskania pożądanej konsystencji i cech sensorycznych. Najbardziej wyraźne zmiany względem układów kontrolnych (niefermentowanych napojów) odnotowano po 72 h fermentacji kontrolowanej w napoju z soczewicy o czerwonych okrywach nasiennych. Z kolei napój z nasion ciecierzycy charakteryzował się najwyższą wartością TEC spośród wszystkich wyrobów finalnych ($2,26 \pm 0,279$ °Brix). Wykazano również, że pasteryzacja zastosowana przed inokulacją kultury starterowej także przyczynia się do obniżenia wartości analizowanego parametru, co podkreśla konieczność uwzględnienia tego etapu w optymalizacji procesu produkcyjnego fermentowanych napojów z nasion roślin strączkowych. Równocześnie stwierdzono, że napoje z ciecierzycy, niezależnie od etapu procesu kontrolowanej fermentacji, cechowały się najwyższą zawartością całkowitego błonnika (TDF), jak również jego nierozpuszczalnej (IDF) i rozpuszczalnej frakcji (SDF).

W dyskusji przeprowadzonej w pracy **P4** wskazano, że odnotowane obniżenie zawartości IDF, SDF i TDF we wszystkich wariantach fermentowanych napojów najprawdopodobniej wynikało z wysokiej aktywności enzymatycznej celulaz i α -galaktozydaz zastosowanego w badaniach szczepu probiotycznego. Enzymy te intensywnie przekształcają frakcje nierozpuszczalne w frakcje rozpuszczalne, które z kolei są bardziej podatne na dalsze modyfikacje zachodzące intensywniej wraz z postępującym czasem kontrolowanej fermentacji (Jood, 2012).

Warto podkreślić, że drobnoustroje uczestniczące w procesach fermentacji żywności roślinnej wykazują odmienną i często bardzo specyficzną aktywność proteolityczną wobec różnych białek surowca, co prowadzi do uwalniania peptydów o różnej długości i zróżnicowanych sekwencjach aminokwasowych (Christensen i in., 2022). Z tego względu, z wykorzystaniem techniki nanoLC-TIMS-MS/MS, przeprowadzono analizy obejmujące porównanie profili peptydowych oraz identyfikację potencjalnych bioaktywnych sekwencji aminokwasowych. **Uzyskane wyniki wykazały, że spośród wszystkich analizowanych wariantów napojów to produkty na bazie ciecierzycy wyróżniały się najwyższą liczbą zidentyfikowanych peptydów, przy czym największą różnorodność sekwencji**

o wysokim prawdopodobieństwie aktywności biologicznej (łącznie 2764) odnotowano po 48 h kontrolowanej fermentacji. Z kolei, w napojach wytworzonych z soczewicy o czerwonych okrywach nasiennych – zarówno fermentowanych, jak i niefermentowanych – zidentyfikowano jedynie trzy potencjalne biopeptydy (HPTFILCSRK, CLQRIFK oraz MEMFDLEFMRR), podczas gdy w produktach uzyskanych z nasion soczewicy o zielonych okrywach nasiennych wykryto zaledwie jedną sekwencje (SLGSNTPINMIR) o potencjalnej bioaktywności. **Te wstępne obserwacje jednoznacznie wskazują, że rodzaj surowca determinuje zarówno liczbę, jak i różnorodność peptydów generowanych w trakcie kontrolowanej fermentacji, co ma kluczowe znaczenie dla projektowania funkcjonalnych produktów roślinnych o ukierunkowanym profilu bioaktywnym. Otrzymane wyniki dodatkowo podkreślają znaczenie kontrolowanej fermentacji w wytwarzaniu związków bioaktywnych, które mogą istotnie wzbogacać prozdrowotne właściwości napojów z roślin strączkowych.**

W celu pogłębienia wiedzy na temat funkcjonalności i właściwości prozdrowotnych uzyskanych napojów przeprowadzono dodatkowe analizy ich potencjału antyoksydacyjnego. Należy zaznaczyć, że akumulacja wolnych rodników w organizmie jest powszechnie uznawana za jeden z kluczowych czynników sprzyjających rozwojowi licznych chorób cywilizacyjnych oraz wielu innych zaburzeń zdrowotnych. Natomiast skuteczna neutralizacja tych reaktywnych cząsteczek wymaga dostarczenia organizmowi odpowiednich ilości związków o właściwościach antyoksydacyjnych, wspierających endogenne mechanizmy obronne wobec długotrwałego stresu oksydacyjnego (Trojan i Satora, 2017).

Aktualne badania wskazują, że kontrolowana fermentacja z udziałem szczepów probiotycznych może istotnie zwiększać potencjał antyoksydacyjny produktów roślinnych, poprawiając ich zdolność wychwytywania wolnych rodników i podkreślając funkcjonalny charakter tych wyrobów (Zhou i in, 2021). Również wyniki badań przedstawione w pracy **P4** jednoznacznie potwierdziły korzystny wpływ fermentacji kwasu mlekowego na wzmocnienie właściwości antyoksydacyjnych uzyskanych z nasion roślin strączkowych napojów. **Wszystkie fermentowane produkty wykazały istotny wzrost aktywności przeciwutleniającej, przy czym wyroby otrzymane po 72 h kontrolowanej fermentacji charakteryzowały się znacząco wyższą zdolnością do neutralizacji wolnych rodników w porównaniu do niefermentowanych odpowiedników.** Ponadto, napoje z ciecierzycy wyróżniały się spośród wszystkich wariantów największym wzrostem badanej aktywności biologicznej (ponad 3,5-krotnie przewyższając wartości wyjściowe). Rezultaty te potwierdzają wysoką skuteczność kontrolowanej fermentacji prowadzone przy udziale *L. plantarum* 299v w podnoszeniu funkcjonalności produktów roślinnych i wskazują na jej potencjał w projektowaniu nowych prozdrowotnych napojów.

Wskazuje się, że poza wolnymi rodnikami akumulacja metali ciężkich i niektórych jonów metali w organizmie może także wywierać niekorzystny wpływ na zdrowie człowieka. W szczególności dotyczy to jonów Fe^{2+} , które w warunkach stresu oksydacyjnego, uczestniczą w katalizowaniu reakcji Fentona, prowadząc do powstawania wysoce reaktywnych rodników hydroksylowych o silnym działaniu prooksydacyjnym wobec lipidów, co może prowadzić do rozwoju zmian miażdżycowych

(Kraml, 2017). W związku z tym istotnym elementem strategii żywieniowych jest zapewnienie podaży związków zdolnych do wiązania i inaktywacji jonów metali o potencjalnie szkodliwym działaniu. Z tego względu w badaniach prezentowanych w publikacji **P4** dokonano również oceny poziomu aktywności napojów otrzymanych z nasion roślin strączkowych do chelatowania jonów Fe^{2+} .

Uzyskane wyniki wykazały istotny wzrost tej aktywności po 3 dobach kontrolowanej fermentacji w napojach z ciecierzycy i soczewicy jadalnej o czerwonych okrywach nasiennych, natomiast w przypadku napojów z zielonej soczewicy (o zielonych okrywach nasiennych) najwyższą aktywność odnotowano w wariancie niefermentowanym. Obserwacje te są szczególnie interesujące, ponieważ sugerują, że fermentacja mlekowa napojów z zielonej soczewicy nie tylko nie zwiększała zdolności wiązania jonów Fe^{2+} , lecz mogła prowadzić do jej istotnego obniżenia. Zjawisko to wyjaśniono w dyskusji w pracy **P4** jako efekt zastosowanych procesów technologicznych (pasteryzacji surowca i następującej po niej fermentacji), które wpływały na zawartość i stabilność chlorofilu, naturalnie obecnego w wysokim stężeniu w nasionach zielonej soczewicy. Warto podkreślić, że chlorofil wykazuje silne właściwości antyoksydacyjne oraz zdolność do chelatowania jonów metali, wynikające z jego specyficznej struktury molekularnej (Martins i in., 2023). W centrum pierścienia porfirynowego znajduje się jon magnezu, który może być wypierany przez metale dwuwartościowe, takie jak Fe^{2+} , Cu^{2+} czy Zn^{2+} , prowadząc do powstawania kompleksów wpływających na właściwości chelatujące cząsteczki (Zvezdanović i Marković, 2009). Obniżenie poziomu pH w trakcie kontrolowanej fermentacji sprzyja zmianom budowy cząsteczki chlorofilu poprzez zastąpienie jonów magnezu jonami wodoru, co prowadzi do jego przekształcenia w feofitynę (Kasangi i in., 2010). Procesowi temu towarzyszy nie tylko zmiana barwy produktu (zaobserwowana także w trakcie eksperymentu), lecz również istotne ograniczenie zdolności do chelatowania jonów Fe^{2+} , co stwierdzono w fermentowanych napojach z zielonej soczewicy. Uzyskane wyniki wskazują zatem, że w przypadku surowców bogatych w naturalne barwniki porfirynowe, fermentacja prowadzona przy udziale *L. plantarum* 299v może prowadzić do modyfikacji ich struktury i właściwości funkcjonalnych. **Wyniki badań przedstawione w publikacji P4 podkreślają złożony charakter przemian zachodzących podczas fermentacji oraz konieczność uwzględniania specyfiki surowca przy projektowaniu produktów o ukierunkowanym potencjale bioaktywnym.**

Spośród wszystkich produktów finalnych (napojów po trzech dniach fermentacji), wyroby uzyskane z nasion ciecierzycy charakteryzowały się najwyższą liczbą żywych komórek bakterii ($7,0 \pm 0,7 \times 10^8$ jtk/ml), natomiast najniższe wartości ($1,8 \pm 0,4 \times 10^8$ jtk/ml) odnotowano w wariancie przygotowanym z nasion soczewicy o zielonych okrywach nasiennych. Wyniki sugerują, że uzyskane produkty fermentowane mogą pełnić rolę nośnika szczepu probiotycznego, spełniając zalecenia FAO/WHO, które określają minimalne stężenie probiotyków w porcji 100 g na poziomie $\geq 10^6$ jtk/g (FAO/WHO, 2002). Jednocześnie Vinderola i in. (2011) podkreślają, że produkty fermentowane powinny zawierać 10^7 – 10^9 jtk/mL lub g oraz być spożywane codziennie (w odpowiedniej ilości), aby wywołać efekt probiotyczny. Chociaż wszystkie analizowane produkty końcowe spełniały kryteria

dotyczące zawartości żywych komórek bakterii, konieczne są dalsze badania w celu weryfikacji ich rzeczywistego działania prozdrowotnego.

Rezultaty przedstawione w pracy P4 stanowią podstawę do opracowywania innowacyjnych, probiotycznych napojów roślinnych, w szczególności na bazie ciecierzycy, jako funkcjonalnej alternatywy dla fermentowanych produktów mlecznych. Badania nad zastosowaniem *L. plantarum* 299v w napojach z roślin strączkowych rozszerzają stan wiedzy w zakresie mechanizmów oddziaływania ukierunkowanej fermentacji mlekowej na zmiany poziomu związków bioaktywnych w złożonych matrycach roślinnych oraz dostarczają nowych danych dotyczących modulacji ich właściwości funkcjonalnych. Uzyskane wyniki wnoszą istotny wkład w rozwój dyscypliny technologia żywności i żywienia oraz obszaru żywności funkcjonalnej, wspierając projektowanie innowacyjnych produktów roślinnych o zwiększonym potencjale prozdrowotnym. Jednocześnie, publikacja podkreśla konieczność kontynuacji badań obejmujących ocenę stabilności fizykochemicznej, właściwości organoleptycznych oraz weryfikację prozdrowotnego działania tych produktów na organizm ludzki. Wyniki **P4** stanowią istotny punkt wyjścia do dalszego udoskonalania technologii wytwarzania nowatorskich, prozdrowotnych wyrobów z surowców roślin strączkowych fermentowanych przez *L. plantarum* 299 v.

Naturalną kontynuacją przedstawionego wątku badawczego było rozszerzenie analiz o możliwość wykorzystania fermentowanych surowców roślin strączkowych jako funkcjonalnych dodatków w produktach o zmodyfikowanej strukturze i złożonym składzie, w celu opracowania innowacyjnego produktu spożywczego o podwyższonych walorach prozdrowotnych, łatwego do włączenia w codzienną dietę. W tym kontekście powstał nowy koncept badawczy, którego wyniki zaprezentowano w publikacji **P5**.

W wielu krajach pieczywo stanowi podstawowy element diety i jeden z najczęściej spożywanych produktów zbożowych, co czyni je atrakcyjnym medium do wprowadzania składników funkcjonalnych o potencjale prozdrowotnym. Podnoszenie jakości i wartości odżywczej wyrobów piekarniczych może odbywać się m.in. poprzez zastosowanie starannie dobranych mieszanek mąk i/lub pseudozbóż oraz wybranych frakcji nasion zbóż do fortyfikacji zakwasu. Taka strategia nie tylko zwiększa zawartość cennych składników odżywczych, lecz także pozwala kształtować właściwości funkcjonalne i technologiczne pieczywa (Shrivastava i Chakraborty, 2018; Bojnanský i in., 2021; Olakanmi i in., 2022).

Innym kierunkiem badań nad poprawą jakości wyrobów piekarniczych jest rozwój skutecznych metod inkorporacji probiotyków, ukierunkowanych na zachowanie ich przeżywalności podczas procesu technologicznego oraz zwiększenie wartości funkcjonalnej produktów finalnych. Analizuje się zarówno bezpośrednie wprowadzanie kultur do ciasta, jak i wykorzystanie surowców poddanych wcześniejszej fermentacji przez bakterie probiotyczne przed wypiekiem.

Wśród analizowanych rozwiązań wyróżnia się stosowanie probiotyków w fermentacji zakwasowej (Akamine i in., 2023) oraz wykorzystanie bakterii przetrwalnikujących, takich jak *Bacillus coagulans*

GBI-30, 6086, cechujących się odpornością na wysokie temperatury wypieku (Almada-Érix i in., 2022). Dodatkowo rozwijane są metody ochrony komórek, obejmujące mikroenkapsulację, jadalne powłoki z kulturami probiotycznymi oraz aplikację mikroorganizmów po wypieku (Mani-López i in., 2023). Pomimo istotnych postępów w badaniach nad wprowadzaniem aktywnych probiotyków do pieczywa, rozwiązania te wciąż nie znalazły szerokiego zastosowania przemysłowego, głównie z powodu wysokich kosztów wdrożenia oraz złożoności modyfikacji i kontroli procesów produkcyjnych. Równocześnie, wraz ze wzrostem świadomości konsumentów na temat wpływu żywienia na zdrowie, rosną oczekiwania dotyczące bezpieczeństwa produktów, ich wartości prozdrowotnej oraz stosowania naturalnych dodatków funkcjonalnych.

W odpowiedzi na te wyzwania intensyfikowane są badania nad rozwojem innowacyjnych metod przetwarzania surowców roślinnych w celu otrzymania nowych dodatków do żywności. Szczególną uwagę poświęca się wykorzystaniu sterowanej fermentacji z udziałem wyselekcjonowanych mikroorganizmów do przetwarzania różnorodnych surowców roślinnych (takich jak całe nasiona zbóż, zarodki pszenne, otręby, makuchy czy inne produkty uboczne przetwórstwa owocowo-warzywnego) w celu wzbogacenia pieczywa w naturalne składniki bioaktywne (Zarzycki i in., 2024; Zhao i in., 2020). Dodatkowym wyzwaniem przy opracowywaniu nowych roślinnych dodatków do pieczywa (w tym wysokobiałkowych składników) jest potrzeba obniżenia poziomu substancji antyodżywczych. Wprowadzanie nowych surowców napotyka również na ograniczenia wynikające z percepcji konsumenckiej, obejmujące obawy związane z alergiami, nietolerancjami pokarmowymi oraz modyfikacjami genetycznymi, co szczególnie dotyczy komponentów sojowych.

W tym kontekście ciecierzycy (*Cicer arietinum* L., zwana także cieciorką lub grochem włoskim) stanowi atrakcyjny surowiec do wzbogacania produktów spożywczych, w tym pieczywa, ze względu na wysoką zawartość białka, stosunkowo niski potencjał alergenny w porównaniu z białkami soi oraz udokumentowane właściwości prozdrowotne (Boukid, 2021; Gupta i in., 2017).

Obecnie wyroby piekarnicze wzbogacone całymi nasionami ciecierzycy są mało rozpowszechnione, a produkty oparte na nasionach poddanych fermentacji probiotycznym szczepem pozostają praktycznie niedostępne na większości rynków europejskich. Ponadto, przydatność technologiczna fermentowanych całych nasion ciecierzycy w produkcji pieczywa oraz ich wpływ na cechy jakościowe wyrobu pozostają nadal nie w pełni scharakteryzowane.

Dotychczasowe badania koncentrują się głównie na fortyfikacji pieczywa mąką z roślin strączkowych, podczas gdy wykorzystanie całych nasion ciecierzycy poddanych fermentacji prowadzonej przez probiotyczne mikroorganizmy jako relatywnie niedrogiego i efektywnego dodatku funkcjonalnego stanowi wciąż otwarty obszar badawczy. Niedostatecznie poznane aspekty wskazanych zagadnień stały się inspiracją do badań przedstawionych w pracy **P5**, których celem było opracowanie niskonakładowej metody wytwarzania produktów piekarniczych odpowiadającej na współczesne wyzwania przemysłu spożywczego. **Nowością prezentowanej pracy jest porównanie efektów wzbogacania chleba pszennego nasionami *Cicer arietinum* fermentowanymi przez probiotyczne**

szczypty bakterii, ze szczególnym uwzględnieniem jakości wyrobów piekarniczych i cechach żywności funkcjonalnej. Badania te wnoszą istotny wkład w rozwój dyscypliny technologia żywności i żywienia, poszerzając wiedzę o możliwościach wykorzystania fermentowanych surowców z roślin strączkowych w projektowaniu pieczywa o zwiększonej wartości prozdrowotnej.

Do badań wykorzystano dostępne na rynku polskim ekologiczne nasiona ciecierzycy (odmiana Kabuli), które przed inicjacją procesu fermentacji poddano wstępnej obróbce i sterylizacji. Jako startery probiotyczne zastosowano dwa szczepy: *Lactiplantibacillus plantarum* 299v (Sanprobi IBS, Sanum, Polska) oraz *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB12 (Chr. Hansen, Polska). Surowiec roślinny fermentowano przez 24 i 48 godzin.

Każdy z przygotowanych wariantów nasion wykorzystano następnie jako dodatek do ciasta w produkcji chleba pszenne. W wariantach pieczywa wzbogaconych dodatkiem *Cicer arietinum*, mąkę pszenną częściowo zastąpiono fermentowaną ciecierzycą w ilości 37% (poziom ten został wyznaczony i zoptymalizowany na podstawie wcześniejszych badań pilotażowych). W rezultacie otrzymano sześć różnych rodzajów pieczywa: CON – kontrolne chleby pszenne (konwencjonalne, niefortyfikowane wyroby); NF – chleby z dodatkiem niefermentowanych nasion ciecierzycy; 299v/24 i 299v/48 – chleby z dodatkiem nasion ciecierzycy fermentowanych szczepem *L. plantarum* 299v przez 24 h lub 48 h oraz BB12/24 oraz BB12/48 – chleby z dodatkiem nasion ciecierzycy fermentowanych szczepem *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB12 przez 24 h lub 48 h.

Interesującym wynikiem realizacji badań były obserwacje dotyczące zmian składu chemicznego w nasionach poddanych fermentacji. Zaobserwowano, że fermentowane nasiona wykazywały istotnie niższą zawartością tłuszczu i jednocześnie wyższą zawartością białka w porównaniu z surowcem niefermentowanym. Najwyższą zawartość białka ($26,85 \pm 0,30\%$ s.m.) stwierdzono w nasionach fermentowanych przez 48 h szczepem *L. plantarum* 299v. Natomiast nasiona niefermentowane wykazały najwyższy poziom całkowitej zawartości błonnika pokarmowego (TDF: $29,39 \pm 0,08\%$ s.m.), w tym rozpuszczalnej frakcji (SDF: $6,00 \pm 0,24\%$ s.m.). Z kolei najwyższe wartości frakcji nierozpuszczalnej (IDF) odnotowano zarówno w próbce kontrolnej, jak i we wszystkich wariantach nasion fermentowanych przez *L. plantarum* 299v, jednakże różnice między tymi wartościami nie były statystycznie istotne.

Zastosowanie analizowanych wariantów nasion ciecierzycy jako dodatku do pieczywa nie wpłynęło istotnie na SDF ani popiołu w wyrobach finalnych w porównaniu z pieczywem kontrolnym. Wzbogacone produkty piekarnicze charakteryzowały się natomiast wyższą zawartością białka i TDF, przy jednoczesnym obniżeniu poziomu węglowodanów. W obrębie analizowanych wariantów nie stwierdzono istotnych różnic statystycznych pod względem tych parametrów.

Zastosowanie dodatku nasion ciecierzycy do pieczywa pszenne istotnie zmodyfikowało jego profil chemiczny, prowadząc do wyraźnego wzrostu wartości żywieniowej. W zależności od wariantu dodatku zawartość białka zwiększyła się o 13,5–14,8%, frakcji IDF o 172,8–209,9%, a całkowitego

blonnika pokarmowego o około 95–115% względem próby kontrolnej, co potwierdza wysoką efektywność fortyfikacji matrycy pszennej badanym surowcem roślinnym.

Najwyższe stężenie białka odnotowano w wyrobach 299v/48 (zawierających nasiona ciecioriki fermentowane przez 48 h z udziałem szczepu *L. plantarum* 299v); analogiczną tendencję wykazała także analiza składu chemicznego samego dodatku. Z kolei wariant pieczywa wzbogacony niefermentowanymi nasionami charakteryzował się najwyższą zawartością tłuszczu ($1,67 \pm 0,03\%$ s.m.), TDF ($14,54 \pm 0,15\%$ s.m.) oraz IDF ($9,73 \pm 0,18\%$ s.m.). Jednocześnie chleby zawierające nasiona fermentowane przez 48 h (niezależnie od użytego szczepu) wykazywały niższe wartości TDF, IDF oraz frakcji SDF w porównaniu z produktami uzyskanymi z dodatkiem fermentowanym przez 24 h. Wyniki te wskazują, że **czas fermentacji nasion ciecierzycy wykorzystanych jako dodatek do pieczywa stanowi kluczowy czynnik modulujący zarówno ilościowy, jak i jakościowy profil błonnika w wyrobach finalnych.**

Kolejnym istotnym zagadnieniem omówionym w publikacji **P5** jest możliwość moderacji poziomu wybranych związków bioaktywnych w pieczywie poprzez zastosowanie analizowanych dodatków nasion *Cicer arietinum*. Wykazano, że wszystkie chleby wzbogacone tym surowcem (z wyjątkiem wariantu 299v/24) charakteryzowały się istotnie wyższą całkowitą zawartością polifenoli oraz flawonoidów (z wyjątkiem BB12/48) w porównaniu z pieczywem kontrolnym. Zaobserwowany wzrost najprawdopodobniej wynika ze specyficznej aktywności enzymatycznej zastosowanych szczepów bakteryjnych, które poprzez syntezę β -glukozydaz, karbohydrolaz i esteraz zwiększają uwalnianie związków polifenolowych z fermentowanych matryc roślinnych. Ponadto, enzymatyczna hydroliza wiązań glikozydowych i estrowych może także prowadzić do zwiększenia biodostępności polifenoli oraz podniesienia potencjału przeciwutleniającego produktów finalnych (Bautista-Expósito i in., 2018; Magro i in., 2019). Należy jednak podkreślić, że na końcową zawartość fenoli wpływają również procesy zachodzące podczas fermentacji ciasta chlebowego w trakcie jego wyrastania oraz przemiany podczas jego wypieku, m. in. aktywność drożdży i powstawanie etanolu mogą intensyfikować ekstrakcję związków fenolowych i dodatkowo wzmacniać aktywność antyoksydacyjną wyrobów (Jayaram i in., 2014).

Najwyższe wartości TPC ($46,24 \pm 6,45$ mg GAE/100 g s.m.) odnotowano w chlebie BB12/48, co odpowiadało wzrostowi o około 59% w porównaniu z pieczywem kontrolnym. Natomiast pieczywo wzbogacone nasionami fermentowanymi przez 24 h szczepem *L. plantarum* 299v charakteryzowało się najwyższym poziomem flawonoidów ($114,38 \pm 3,54$ mg QE/100 g s.m.) i wykazywało najwyższe stężenie flawonoidów (TFC: $114,38 \pm 3,54$ mg QE/100 g s.m.), czyli o około 55% więcej niż zwykły chleb pszenny. Zaobserwowany wzrost wartości TFC można wytłumaczyć nasilonym uwalnianiem flawonoidów z matrycy roślinnej, zachodzącym w warunkach dynamicznego obniżania pH podczas fermentacji (Haile i Kang, 2019). Ponadto wszystkie wyroby piekarnicze wzbogacone nasionami *Cicer arietinum* wykazywały istotnie wyższy potencjał antyoksydacyjny w porównaniu z pieczywem kontrolnym. Najwyższe wartości aktywności antyoksydacyjnej, wyrażone w ekwiwalentach Trolox

(TEAC: $227,02 \pm 7,29$ $\mu\text{mol Trolox}/100$ g s.m.) oraz zdolności do neutralizacji wolnych rodników DPPH^{*} ($71,37 \pm 1,30\%$ inhibicji), odnotowano w wariancie wzbogaconym dodatkiem niefermentowanych nasion. Co istotne, produkty zawierające nasiona fermentowane przez 48 h, niezależnie od zastosowanego szczepu, wykazywały wyższe wartości badanych parametrów niż warianty wzbogacone dodatkiem fermentowanym przez 24 h, co wskazuje na korzystny wpływ wydłużonego procesu fermentacyjnego nasion ciecioriki na właściwości antyoksydacyjne chleba.

W pracy **P5** wykazano również, że produkty wzbogacone nasionami *Cicer arietinum* posiadają większą zdolność do chelatowania jonów żelaza (II) w porównaniu z pieczywem kontrolnym. Najwyższą wartość tej aktywności odnotowano w chlebie BB12/48.

Uzyskane wyniki potwierdziły, że wprowadzenie nasion ciecioriki do chleba pszennego istotnie podnosi zawartość witaminy B₂. W zależności od zastosowanego wariantu dodatku, stężenie ryboflawiny wzrosło o 22–54,8% w porównaniu z pieczywem kontrolnym, przy czym najwyższe wartości ($79,79 \pm 2,56$ $\mu\text{g}/100$ g s.m.) odnotowano w produktach z dodatkiem nasion niefermentowanych. Ponadto zaobserwowano ciekawą zależność w przypadku wyrobów zawierających fermentowane dodatki: chleby z wariantu 299v/24 wykazywały wyższe stężenia witaminy B₂ niż produkty zawierające nasiona po 48 h fermentacji. Natomiast w przypadku dodatków fermentowanych szczepem *B. animalis* subsp. *lactis* BB-12 dłuższy czas fermentacji (48 h) wiązał się z obniżeniem poziomu zawartości tej witaminy w produkcie końcowym. Jak wskazano w publikacji **P5, różnice te mogą wynikać z odmiennych aktywności metabolicznych zastosowanych szczepów, obejmujących specyficzność i aktywność enzymów, tempo wzrostu oraz wymagania odżywcze mikroorganizmów (Adebo i in., 2022). W konsekwencji niższa zawartość ryboflawiny w wariancie BB12/48 mogła być efektem jej wykorzystania przez *B. animalis* subsp. *lactis* BB-12 w procesach metabolicznych zachodzących w trakcie procesu fermentacji nasion.**

Praca P5 jednoznacznie wskazuje na wysoki potencjał nasion *Cicer arietinum* jako składnika funkcjonalnego w produkcji chleba oraz podkreśla innowacyjny charakter zastosowania fermentacji prowadzonej przy udziale probiotycznych szczepów bakterii w celu poprawy właściwości prozdrowotnych i wyróżników jakościowych pieczywa.

Wydajność pieczywa, jego objętość właściwa oraz wilgotność miększu stanowią kluczowe wskaźniki jakości, jednocześnie wpływając na ekonomiczną opłacalność produkcji. Szczególne znaczenie mają wydajność i całkowita strata piecowa (TBL – total baking loss), ponieważ bezpośrednio odnoszą się do rentowności procesu produkcyjnego. W związku z tym przeprowadzenie analiz tych parametrów jest niezbędne zarówno do oceny praktycznej przydatności dodatków funkcjonalnych, jak i do możliwości optymalizacji procesu technologicznego pieczywa wzbogaconego roślinnymi surowcami strączkowymi.

Zastosowanie uzyskanych wariantów dodatków w produkcji chleba wpłynęło korzystnie na większość ocenianych parametrów jakościowych, z wyjątkiem objętości właściwej pieczywa.

W zależności od wariantu, wyroby finalne wykazywały wzrost wydajności pieczywa w zakresie 11,9–16,7% w porównaniu z kontrolą. Jednocześnie wszystkie produkty wzbogacone nasionami *Cicer arietinum* charakteryzowały się istotnie niższą objętością właściwą; najniższą wartość tego parametru (obniżenie o 36%) odnotowano w wariancie BB12/48, który równocześnie cechował się najwyższą wydajnością pieczywa ($159,6 \pm 0,8\%$). Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic ($p > 0,05$) w objętości właściwej pomiędzy wyrobami piekarniczymi wzbogaconymi różnymi wariantami nasion ciecierzycy.

Produkty zawierające nasiona fermentowane wykazały natomiast niższe TBL w porównaniu zarówno z pieczywem kontrolnym (CON), jak i wariantem wzbogaconym nasionami niefermentowanymi. Odnotowano również istotnie wyższą wilgotność świeżego miększu w pieczywie wzbogaconym nasionami cieciorki w porównaniu z CON, przy czym produkty zawierające nasiona fermentowane nie różniły się istotnie między sobą pod tym względem. Zjawisko to można wyjaśnić wysoką zdolnością nasion ciecierzycy do wiązania wody, co ogranicza utratę wilgoci w trakcie pieczenia, skutkując wyższą wilgotnością miększu i jednocześnie zmniejszoną objętością bochenka (Mohammed i in., 2014).

Produkty piekarnicze wzbogacone nasionami *Cicer arietinum* charakteryzowały się ciemniejszą barwą (wykazywały niższy poziom parametru L^* określającego jasność barwy) w porównaniu z CON, co prawdopodobnie wynikało z częściowego zastąpienia mąki pszennej nasionami oraz związanej z tym wyższej zawartości białka w cieście, sprzyjającej intensywniejszemu przebiegowi reakcji Maillarda podczas pieczenia, a w konsekwencji – ciemniejszej barwie wyrobów końcowych (Dall'Asta i in., 2013). Chleby wzbogacone nasionami fermentowanymi przez 48 h wykazywały nieco niższe wartości L^* niż analogiczne produkty zawierające ciecierzycę fermentowaną przez 24 h, jednakże różnice te nie były statystycznie istotne. Wartości parametrów a^* i b^* , odpowiadające odpowiednio odcieniom czerwieni i żółci, były wyższe we wszystkich produktach wzbogaconych nasionami ciecierzycy w porównaniu z próbą kontrolną. Szczególnie widoczny był wzrost nasycenia barwy kolorem żółtym (b^*), co można przypisać wysokiej zawartości karotenoidów w ciecierzycy, takich jak luteina, zeaksantyna i β -karoten, nadających nasionom naturalną żółto-pomarańczową barwę (Ashokkumar i in., 2014). Dodatkowo obecna w nasionach ryboflawina, częściowo syntetyzowana także przez szczepy probiotyczne, mogła również przyczynić się do wzmocnienia żółto-pomarańczowego odcienia barwy produktów (LeBlanc i in., 2017; Suwannasom i in., 2020b), co koresponduje z przedstawionymi wcześniej wynikami oznaczenia zawartości witaminy B_2 w produktach finalnych.

Aby ocenić wpływ dodatku nasion ciecierzycy na właściwości teksturalne chleba podczas jego przechowywania, przeanalizowano poszczególne parametry tekstury – w tym twardość, sprężystość, spójność oraz żujność w dwóch różnych punktach czasowych.

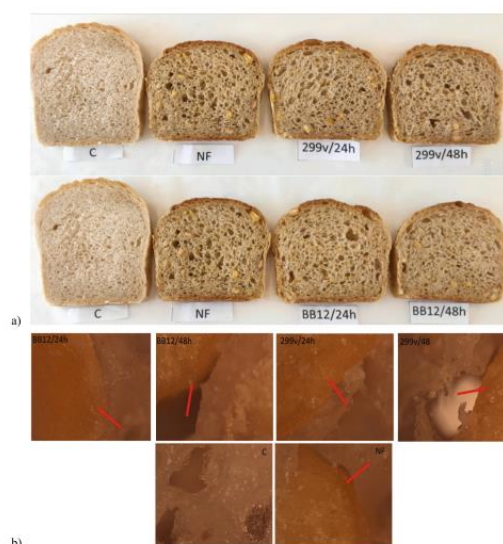
Jak wskazują wyniki opublikowane w pracy **P5**, wszystkie produkty zawierające dodatek nasion, w porównaniu z kontrolą, wykazywały większą twardość zarówno po 24 h jak i po 72 h

przechowywania. Najwyższe wartości tego parametru w obu analizowanych punktach czasowych odnotowano w pieczywie zawierającym nasiona fermentowane szczepem *L. plantarum* 299v.

Ponadto po trzech dobach przechowywania we wszystkich wariantach pieczywa stwierdzono obniżenie sprężystości i spójności w porównaniu z wartościami uzyskanymi dla tych samych wyrobów po 24 h przechowywania (przy czym różnice pomiędzy badanymi produktami nie były statystycznie istotne).

Interesującym zjawiskiem był wzrost wartości żujności obserwowany we wszystkich rodzajach pieczywa po trzech dniach przechowywania, z wyjątkiem chlebów zawierających nasiona niefermentowane oraz wyrobów należących do wariantu 299v/48h, w których wartość tego parametru utrzymywała się na stabilnym poziomie.

Wszystkie chleby wzbogacone dodatkiem nasion ciecierzycy wykazywały równomierne rozmieszczenie nasion i ich stabilne wbudowanie w strukturę miękiszu (Ryc. 3), co zapobiegało ich wypadaniu podczas krojenia. Taki sposób integracji nasion cieciorzki z masą chlebową wskazuje na korzystny wpływ zastosowanego dodatku na spójność strukturalną pieczywa oraz może sprzyjać równomiernemu rozmieszczeniu składników bioaktywnych w produkcie końcowym.



Rys. 3. Przykładowe obrazy makrostruktury (a) oraz mikrostruktury (powiększenie $\times 40$) miękiszu badanych wariantów pieczywa (b)

Objaśnienia: Czerwonymi strzałkami zaznaczono strukturę nasion ciecierzycy (źródło: publikacja P5).

Wyniki opisane w pracy P5 jednoznacznie wykazują, że fermentowane nasiona *Cicer arietinum* stanowią wartościowy dodatek funkcjonalny do pieczywa, umożliwiając jego naturalne wzbogacenie w związki biologicznie czynne, takie jak witaminy i polifenole, bez użycia dodatków syntetycznych. **Praca uzupełnia niedostatecznie zgłębiony obszar wiedzy dotyczący wpływu fermentacji nasion roślin strączkowych na właściwości technologiczne i bioaktywne pieczywa, jednocześnie wskazując nowe możliwości rozszerzenia zastosowania roślin strączkowych w technologii**

żywności oraz dostarczając podstaw niezbędnych do projektowania innowacyjnych rozwiązań w technologii piekarnictwa.

4.3.3. Podsumowanie

Przedstawiony cykl 5 prac stanowiących przedłożone osiągnięcie naukowe jest zbiorem publikacji dokumentujących wyniki badań dotyczących wykorzystania procesu fermentacji kwasu mlekowego surowców i produktów pochodzących z roślin strączkowych jako strategii zwiększania potencjału prozdrowotnego oraz funkcjonalności nowych wyrobów spożywczych.

Za najważniejsze osiągnięcia i wkład w rozwój dyscypliny naukowej tego cyklu uważam:

- Przeprowadzenie badań, których rezultaty wykazały, iż spontaniczna fermentacja *Lens culinaris* Medik. stanowi źródło pozyskiwania nowych izolatów LAB o potencjalnym znaczeniu technologicznym w tym bakterii przydatnych w projektowaniu żywności fermentowanej o ukierunkowanych cechach jakościowych i prozdrowotnych. Ponadto, po raz pierwszy przeprowadzono charakterystykę profilu bakteryjnego spontanicznie fermentowanej ekologicznej soczewicy jadalnej o czerwonych okrywach nasiennych, analiza ta umożliwiła identyfikację 16 gatunków bakterii, co poszerza bazę wiedzy niezbędną do selekcji autochtonicznej mikroflory o potencjale wdrożeniowym.
- Określenie dynamiki zmian w składzie mikrobioty bakteryjnej *Lens culinaris* Medik. w trakcie spontanicznej fermentacji, ze szczegółowym wskazaniem taksonów dominujących na kolejnych etapach procesu. Wykazano, że po 24 h fermentacji dominowały *Leuconostoc lactis*, *Bacillus subtilis* oraz *Lactococcus taiwanensis/lactis*, natomiast po 48 h zaobserwowano istotne przekształcenia składu mikrobioty, obejmujące obniżenie liczebności *L. lactis* przy jednoczesnym wzroście udziału *Weissella confusa/cibaria* oraz *Pediococcus pentosaceus*, co wskazuje na istotną zmianę sukcesji drobnoustrojów determinującą kierunek i intensywność przemian fermentacyjnych.
- Wykazanie, że spontaniczna fermentacja *Lens culinaris* Medik. prowadzi do istotnych modyfikacji składu białkowego surowca, obejmujących intensywną degradację frakcji białek o niskiej masie cząsteczkowej (~6–10 kDa) oraz potencjalną transformację prolaminę Len c3 (~9 kDa, nsLTP), uznawanej za czynnik alergenny, co ma istotne znaczenie dietetyczne oraz wysoką wartość wdrożeniową w zastosowaniach technologicznych, ponieważ wskazane zmiany (w połączeniu z uwalnianiem bioaktywnych peptydów i modyfikacją profilu aminokwasowego) mogą zwiększać przyswajalność białek oraz obniżać potencjał alergenny produktu finalnego. Jednocześnie wykazano, że fermentacja soczewicy o czerwonych okrywach nasiennych prowadzi do obniżenia zawartości aminokwasów odpowiedzialnych za powstawanie smaku gorzkiego (m.in. tyrozyny, histydyny i izoleucyny), co poprawia profil sensoryczny surowca, a istotny statystycznie wzrost zawartości ryboflawiny potwierdza udział

autochtonicznej mikrobioty w procesie naturalnej biofortyfikacji witaminą B₂. Uzyskane wyniki potwierdziły, że zarówno fermentacja spontaniczna, jak i kontrolowana mogą stanowić efektywne narzędzie podnoszenia potencjału nutraceutycznego surowców roślin strączkowych oraz otrzymywanych z nich produktów spożywczych.

- Wykazanie, że kontrolowana fermentacja mąki z soczewicy o zielonych okrywach nasiennych z udziałem szczepu *L. plantarum* 299v skutecznie obniża zawartość składników antyodżywczych, w tym inhibitora trypsyny, kwasu fitynowego oraz tanin, jednocześnie modyfikując jej właściwości technologiczne i zwiększając potencjał funkcjonalny oraz prozdrowotny surowca. Ponadto stwierdzono, że parametry procesu fermentacji istotnie determinują kierunek zmian biochemicznych, a 12-godzinna fermentacja najefektywniej zwiększa całkowitą zawartość związków polifenolowych w mące, natomiast 6-godzinny proces prowadzi do największego wzrostu poziomu flawonoidów oraz aktywności antyoksydacyjnej, w tym zdolności wychwytywania wolnych rodników oraz siły redukcyjnej. Uzyskane wyniki potwierdzają, że optymalizacja czasu fermentacji pozwala na ukierunkowane kształtowanie właściwości bioaktywnych mąki z zielonej soczewicy.
- Potwierdzenie, że czas prowadzenia kontrolowanej fermentacji z udziałem szczepu *L. plantarum* 299v wpływa na poziom aktywności przeciwutleniającej oraz zawartość potencjalnie bioaktywnych peptydów w napojach z roślin strączkowych, ponadto rodzaj zastosowanego surowca determinuje profil generowanych sekwencji peptydowych. Stwierdzono, że napoje uzyskane z ciecierzycy wyróżniały się najwyższą aktywnością antyoksydacyjną oraz największą liczbą sekwencji aminokwasowych o potencjalnej aktywności biologicznej. Dodatkowo wykazano, że 72-godzinna fermentacja napojów z ciecierzycy i soczewicy o czerwonych okrywach nasiennych istotnie zwiększa zdolność uzyskanych wyrobów do chelatowania jonów Fe²⁺, natomiast w przypadku produktów na bazie soczewicy o zielonych okrywach nasiennych obserwowano obniżenie tej aktywności. Uzyskane wyniki potwierdzają, że właściwości bioaktywne napojów roślinnych mogą być ukierunkowane kształtowane poprzez dobór surowca oraz parametry warunków fermentacji.
- Wykazanie, że napoje uzyskane z nasion roślin strączkowych mogą pełnić rolę nośnika probiotycznego szczepu *L. plantarum* 299v, przy czym najwyższą liczbę żywych komórek po 3 dniach fermentacji odnotowano w napojach z ciecierzycy ($7,0 \pm 0,7 \times 10^8$ jtk/ml), a najniższą w wariacie uzyskanym z soczewicy o zielonych okrywach nasiennych ($1,8 \pm 0,4 \times 10^8$ jtk/ml), co wskazuje, że dobór surowca stanowi kluczowy czynnik determinujący przeżywalność i stabilność szczepu oraz warunkuje potencjał wdrożeniowy tych produktów w projektowaniu funkcjonalnych napojów probiotycznych.
- Dostarczenie wiedzy na temat możliwości zastosowania kontrolowanej fermentacji nasion ciecierzycy z wykorzystaniem monokultur *L. plantarum* 299v oraz *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12 do projektowania funkcjonalnych dodatków do pieczywa. Ponadto,

wykazano, że fermentacja istotnie modyfikuje skład surowca, prowadząc do obniżenia zawartości tłuszczu i zwiększenia zawartości białka (maksymalnie $26,85 \pm 0,30\%$ s.m. po 48 h fermentacji szczepem *L. plantarum* 299v), podczas gdy warianty niefermentowane charakteryzują się wyższą zawartością błonnika pokarmowego (TDF: $29,39 \pm 0,08\%$ s.m.; SDF: $6,00 \pm 0,24\%$ s.m.), co stwarza możliwości technologicznego dostosowania produktów do zróżnicowanych potrzeb rynkowych.

- Wskazanie strategii pozwalającej na szersze wykorzystanie roślin strączkowych w technologii żywności, z uwzględnieniem naturalnych metod kształtowania wartości prozdrowotnej pieczywa mające istotne znaczenie aplikacyjne. Wykazano, że dodatek nasion cieciorki (szczególnie po 48-godzinnej fermentacji z udziałem *L. plantarum* 299v) umożliwia istotne zwiększenie zawartości białka oraz błonnika pokarmowego stwarzając podstawy do projektowania wyrobów piekarniczych o podwyższonej wartości odżywczej i wysokim potencjale wdrożeniowym.
- Wykazanie, że czas fermentacji nasion ciecierzycy dodawanych do ciasta chlebowego istotnie kształtuje ilościowy i jakościowy profil błonnika w wyrobach piekarniczych, co ma bezpośrednie znaczenie przemysłowe, ponieważ umożliwia piekarniom precyzyjne sterowanie składem i właściwościami produktów zgodnie z wymaganiami żywieniowymi i oczekiwaniami rynku.
- Wykazanie, że zastosowanie nasion cieciorki (jako 37% dodatku do ciasta chlebowego) umożliwia skuteczną modulację zawartości związków bioaktywnych w pieczywie. Stwierdzono wzrost zawartości białka (o 15–20%), błonnika TDF (o 10–12%), polifenoli (do 59%) oraz flawonoidów (do 55%), zależnie od czasu fermentacji i zastosowanego szczepu, a także istotne zwiększenie potencjału antyoksydacyjnego w uzyskanych wyrobach piekarniczych (podwyższenie poziomu TEAC o 65–70% i DPPH* o 50–55% względem kontroli), co wskazuje na możliwość skutecznej modyfikacji właściwości bioaktywnych pieczywa bez konieczności wprowadzania dodatków syntetycznych. Dodatkowo wykazano poprawę zdolności chelatowania jonów Fe^{2+} (najwyższą dla wariantów chleba zawierających dodatek nasion fermentowanych przez 48 h szczepem *B. animalis* subsp. *lactis* BB-12) oraz wzrost zawartości witaminy B₂ (do 54,8% w wariacie pieczywa z dodatkiem niefermentowanych nasion). Ponadto wykazano, że wydajność pieczywa zwiększa się o 11,9–16,7% w zależności od wariantu dodatku nasion wprowadzonego do ciasta, a zastosowanie nasion fermentowanych obniża TBL i zwiększa wilgotność mięksiszu, przy jednoczesnym zachowaniu pożądanych właściwości teksturalnych wyrobów, co potwierdza praktyczne znaczenie wyników dla poprawy jakości i efektywności technologicznej pieczywa.

Wyniki badań omówione w publikacjach **P1–P5** jednoznacznie potwierdzają postawioną hipotezę badawczą, wykazując, że fermentacja surowców roślin strączkowych (zarówno spontaniczna, jak

i kontrolowana) z udziałem bakterii fermentacji mlekowej stanowi skuteczną strategię modyfikacji właściwości biochemicznych i mikrobiologicznych zwiększając potencjalną wartość prozdrowotną i funkcjonalną surowców poddawanych fermentacji uzyskiwanych wyrobów roślinnych. Ponadto procesy sterowane, prowadzone z wykorzystaniem probiotycznego szczepu bakterii *L. plantarum* 299v, istotnie przyczyniają się do redukcji zawartości wybranych związków antyodżywczych w materiale pochodzącym z nasion roślin strączkowych.

Przedstawiony cykl publikacji podkreśla możliwość innowacyjnego wykorzystania fermentacji mlekowej surowców pochodzących z nasion roślin strączkowych w różnych zastosowaniach w technologii żywności. Obejmuje to m.in. naturalną biofortyfikację surowców, projektowanie funkcjonalnych półproduktów (mąk) oraz opracowywanie dodatków funkcjonalnych stosowanych m.in. w produkcji pieczywa, a także tworzy podstawy do wdrażania rozwiązań w zakresie rozwoju nowych probiotycznych napojów roślinnych.

Piśmiennictwo

- Acheampong, R., Osei Tutu, C., Owusu-Bempah, J., Kumador, D. K., Mahama, S., Kortei, N. K., Wiafe-Kwagyan, M., Akonor, P. T., & Ayim-Akonor, M. (2025). Underutilised legumes in regenerative agriculture: Implications for food and nutritional security – A review. *Applied Food Research*, 5(2), 101313. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101313>
- Adebo, J. A., Njobeh, P. B., Gbashi, S., Oyedeji, A. B., Ogundele, O. M., Oyeyinka, S. A., & Adebo, O. A. (2022a). Fermentation of Cereals and Legumes: Impact on Nutritional Constituents and Nutrient Bioavailability. *Fermentation*, 8(2), 63. <https://doi.org/10.3390/fermentation8020063>
- Adebo, J. A., Njobeh, P. B., Gbashi, S., Oyedeji, A. B., Ogundele, O. M., Oyeyinka, S. A., & Adebo, O. A. (2022b). Fermentation of Cereals and Legumes: Impact on Nutritional Constituents and Nutrient Bioavailability. *Fermentation*, 8(2), 63. <https://doi.org/10.3390/fermentation8020063>
- Agency, F. S. (2025). Review of precision fermentation applications to identify common challenges for safety assessment. *FSA Research and Evidence*. <https://doi.org/10.46756/001c.147356>
- Akamine, I. T., Mansoldo, F. R. P., & Vermelho, A. B. (2023). Probiotics in the Sourdough Bread Fermentation: Current Status. *Fermentation*, 9(2), 90. <https://doi.org/10.3390/fermentation9020090>
- Akanni, G. B., & Adebo, O. A. (2024). Metabolite perturbations in fermented legumes as elucidated using metabolomics: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(6), 4234–4250. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17122>
- Akkerdaas, J., Finkina, E. I., Balandin, S. V., Santos Magadán, S., Knulst, A., Fernandez-Rivas, M., Asero, R., van Ree, R., & Ovchinnikova, T. V. (2011). Lentil (*Lens culinaris*) Lipid Transfer Protein Len c 3: A Novel Legume Allergen. *International Archives of Allergy and Immunology*, 157(1), 51–57. <https://doi.org/10.1159/000324946>
- Alexander, R., Khaja, A., Debiec, N., Fazioli, A., Torrance, M., & Razzaque, M. S. (2024). Health-promoting benefits of lentils: Anti-inflammatory and anti-microbial effects. *Current Research in Physiology*, 7, 100124. <https://doi.org/10.1016/j.crphys.2024.100124>
- Aljohani, A., Rashwan, N., Vasani, S., Alkhawashki, A., Wu, T. T., Lu, X., Castillo, D. A., & Xiao, J. (2025). The Health Benefits of Probiotic *Lactiplantibacillus plantarum*: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 17(5), 3358–3377. <https://doi.org/10.1007/s12602-024-10287-3>
- Almada-Érix, C. N., Almada, C. N., Souza Pedrosa, G. T., Paulo Biachi, J., Bonatto, M. S., Schmiele, M., Nabeshima, E. H., Clerici, M. T. P. S., Magnani, M., & Sant’Ana, A. S. (2022). Bread as probiotic carriers: Resistance of *Bacillus coagulans* GBI-30 6086 spores through processing steps. *Food Research International*, 155, 111040. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111040>
- Amoah, I., Ascione, A., Muthanna, F. M. S., Feraco, A., Camajani, E., Gorini, S., Armani, A., Caprio, M., & Lombardo, M. (2023). Sustainable Strategies for Increasing Legume Consumption: Culinary and Educational Approaches. *Foods*, 12(11), 2265. <https://doi.org/10.3390/foods12112265>
- Anal, A. K. (2019). Quality Ingredients and Safety Concerns for Traditional Fermented Foods and Beverages from Asia: A Review. *Fermentation*, 5(1), 8. <https://doi.org/10.3390/fermentation5010008>
- Aragão, M. Â., Pires, L., Santos-Buelga, C., Barros, L., & Calhelha, R. C. (2024). Revitalising Riboflavin: Unveiling Its Timeless Significance in Human Physiology and Health. *Foods*, 13(14), 2255. <https://doi.org/10.3390/foods13142255>
- Ashokkumar, K., Tar’an, B., Diapari, M., Arganosa, G., & Warkentin, T. D. (2014). Effect of Cultivar and Environment on Carotenoid Profile of Pea and Chickpea. *Crop Science*, 54(5), 2225–2235. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.12.0827>

- Bautista-Expósito, S., Peñas, E., Silván, J. M., Frias, J., & Martínez-Villaluenga, C. (2018). pH-controlled fermentation in mild alkaline conditions enhances bioactive compounds and functional features of lentil to ameliorate metabolic disturbances. *Food Chemistry*, 248, 262–271. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.059>
- Benavides, A. B., Ulcuango, M., Yépez, L., & Tenea, G. N. (2016). Assessment of the *in vitro* bioactive properties of lactic acid bacteria isolated from native ecological niches of Ecuador. *Revista Argentina de Microbiología*, 48(3), 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.05.003>
- Bokulich, N. A., Lewis, Z. T., Boundy-Mills, K., & Mills, D. A. (2016). A new perspective on microbial landscapes within food production. *Current Opinion in Biotechnology, Food Biotechnology • Plant Biotechnology*, 37, 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2015.12.008>
- Boukid, F. (2021). Chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein as a prospective plant-based ingredient: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(11), 5435–5444. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15046>
- Çakmakçı, S., Polatoğlu, B., & Çakmakçı, R. (2024). Foods of the Future: Challenges, Opportunities, Trends, and Expectations. *Foods*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/foods13172663>
- Cantu-Jungles, T. M., Bulut, N., Chambry, E., Ruthes, A., Iacomini, M., Keshavarzian, A., Johnson, T. A., & Hamaker, B. R. (2021). Dietary Fiber Hierarchical Specificity: The Missing Link for Predictable and Strong Shifts in Gut Bacterial Communities. *mBio*, 12(3), 10.1128/mbio.01028-21. <https://doi.org/10.1128/mbio.01028-21>
- Castro-Alba, V., Lazarte, C. E., Perez-Rea, D., Carlsson, N.-G., Almgren, A., Bergenståhl, B., & Granfeldt, Y. (2019). Fermentation of pseudocereals quinoa, canihua, and amaranth to improve mineral accessibility through degradation of phytate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(11), 5239–5248. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9793>
- Chan, E. W. C., Wong, S. K., Kezuka, M., Oshiro, N., & Chan, H. T. (2021). Natto and miso: An overview on their preparation, bioactive components and health-promoting effects. *Food Research*, 5(3), 446–452. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(3\).587](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(3).587)
- Chen, X., Lu, Y., Zhao, A., Wu, Y., Zhang, Y., & Yang, X. (2022). Quantitative analyses for several nutrients and volatile components during fermentation of soybean by *Bacillus subtilis natto*. *Food Chemistry*, 374, 131725. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131725>
- Choręziak, A., Rosiejka, D., Michałowska, J., & Bogdański, P. (2025). Nutritional Quality, Safety and Environmental Benefits of Alternative Protein Sources—An Overview. *Nutrients*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/nu17071148>
- Cichońska, P., & Ziarno, M. (2022). Legumes and Legume-Based Beverages Fermented with Lactic Acid Bacteria as a Potential Carrier of Probiotics and Prebiotics. *Microorganisms*, 10(1), 91. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010091>
- Committee, E. S., More, S. J., Benford, D., Hougaard Bennekou, S., Bampidis, V., Bragard, C., Halldorsson, T. I., Hernández-Jerez, A. F., Koutsoumanis, K., Lambré, C., Machera, K., Mullins, E., Nielsen, S. S., Schlatter, J., Schrenk, D., Turck, D., Naska, A., Poulsen, M., Ranta, J., ... Younes, M. (2024). Guidance on risk–benefit assessment of foods. *EFSA Journal*, 22(7), e8875. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8875>
- Costlow, L., Herforth, A., Sulser, T. B., Cenacchi, N., & Masters, W. A. (2024). *Global analysis reveals persistent shortfalls and regional differences in availability of foods needed for health* (arXiv:2401.01080). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.01080>
- Cuevas-Rodríguez, E.-O., Rochín, S. M., León-López, L., & Reyes-Moreno, C. (2025a). Fortification of functional foods using legumes: A strategy to improve the nutritional and nutraceutical characteristics and health benefits. In *Improving Health and Nutrition through Functional Foods* (pp. 43–65). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-21874-3.00005-2>
- Cuevas-Rodríguez, E.-O., Rochín, S. M., León-López, L., & Reyes-Moreno, C. (2025b). Fortification of functional foods using legumes: A strategy to improve the nutritional and nutraceutical characteristics and health benefits. In *Improving Health and Nutrition through Functional Foods* (pp. 43–65). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-21874-3.00005-2>
- Dall'Asta, C., Cirlini, M., Morini, E., Rinaldi, M., Ganino, T., & Chiavaro, E. (2013). Effect of chestnut flour supplementation on physico-chemical properties and volatiles in bread making. *LWT - Food Science and Technology*, 53(1), 233–239. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.02.025>
- Dhull, S. B., Punia, S., Kidwai, M. K., Kaur, M., Chawla, P., Purewal, S. S., Sangwan, M., & Palthania, S. (2020). Solid-state fermentation of lentil (*Lens culinaris* L.) with *Aspergillus awamori*: Effect on phenolic compounds, mineral content, and their bioavailability. *Legume Science*, 2(3), e37. <https://doi.org/10.1002/leg3.37>
- Di Cagno, R., Coda, R., De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2013). Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation. *Food Microbiology*, 33(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.09.003>
- Difo, H. V., Onyike, E., Ameh, D. A., Ndidi, U. S., & Njoku, G. C. (2014). *Chemical Changes during Open and Controlled Fermentation of Cowpea (Vigna unguiculata) Flour*.
- Edstam, M. M., Blomqvist, K., Eklöf, A., Wennergren, U., & Edqvist, J. (2013). Coexpression patterns indicate that GPI-anchored non-specific lipid transfer proteins are involved in accumulation of cuticular wax, suberin and sporopollenin. *Plant Molecular Biology*, 83(6), 625–649. <https://doi.org/10.1007/s11103-013-0113-5>
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). (2010). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA Journal*, 8(3), 1461. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1461>
- Emkani, M., Oliete, B., & Saurel, R. (2022). Effect of Lactic Acid Fermentation on Legume Protein Properties, a Review. *Fermentation*, 8(6), 244. <https://doi.org/10.3390/fermentation8060244>
- Fich, E. A., Segerson, N. A., & Rose, J. K. C. (2016). The Plant Polyester Cutin: Biosynthesis, Structure, and Biological Roles. *Annual Review of Plant Biology*, 67(Volume 67, 2016), 207–233. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-111929>

- Finkina, E. I., Melnikova, D. N., Bogdanov, I. V., Matveevskaya, N. S., Ignatova, A. A., Toropygin, I. Y., & Ovchinnikova, T. V. (2020). Impact of Different Lipid Ligands on the Stability and IgE-Binding Capacity of the Lentil Allergen Len c 3. *Biomolecules*, *10*(12), 1668. <https://doi.org/10.3390/biom10121668>
- Fouad Abobatta, W., Fathy ElHashash, E., & Helmy Hegab, R. (2021). Challenges and opportunities for the global cultivation and adaptation of legumes. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*, *8*(5), 160–172. <https://doi.org/10.15406/jabb.2021.08.00270>
- García Arteaga, V., Demand, V., Kern, K., Strube, A., Szardenings, M., Muranyi, I., Eisner, P., & Schweiggert-Weisz, U. (2022). Enzymatic Hydrolysis and Fermentation of Pea Protein Isolate and Its Effects on Antigenic Proteins, Functional Properties, and Sensory Profile. *Foods*, *11*(1), 118. <https://doi.org/10.3390/foods11010118>
- Garrido-Galand, S., Asensio-Grau, A., Calvo-Lerma, J., Heredia, A., & Andrés, A. (2021). The potential of fermentation on nutritional and technological improvement of cereal and legume flours: A review. *Food Research International*, *145*, 110398. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110398>
- Gayacharan, Parida, S. K., Mondal, N., Yadav, R., Vishwakarma, H., & Rana, J. C. (2023). Mining legume germplasm for genetic gains: An Indian perspective. *Frontiers in Genetics*, *14*. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.996828>
- Global Plant-Based Protein Industry 2025-2029. (n.d.). Retrieved January 29, 2026, from https://www.reportlinker.com/report-summary/Processed-Food/278126/Global-Plant-Based-Protein-Industry.html?autogen=1&_gl=1*kloqzo*_up*MQ..*_gs*MQ..&gclid=Cj0KCCQiAp-zLBhDkARIsABcYc6tS4tZX19ehXANxqiA97NLM65COzYeezjZUHjJuzKOUr1a0OWIN_VQaAv3YEALw_wcB&gbrad=0AAAAAD19yGcVLyrAAAVbgY3C4PKbWmjHo
- Gobbetti, M., Rizzello, C. G., Di Cagno, R., & De Angelis, M. (2014). How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. *Food Microbiology*, *V International Symposium on Sourdough - Cereal Fermentation for Future Foods, Helsinki 10-12 October 2012*, *37*, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.012>
- Grdeń, P., & Jakubczyk, A. (2023). Health benefits of legume seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *103*(11), 5213–5220. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12585>
- Gu, J., Bk, A., Wu, H., Lu, P., Nawaz, M. A., Barrow, C. J., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. R. (2023). Impact of processing and storage on protein digestibility and bioavailability of legumes. *Food Reviews International*, *39*(7), 4697–4724. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2039690>
- Guerrero, P., Garrido, T., Leceta, I., & de la Caba, K. (2013). Films based on proteins and polysaccharides: Preparation and physical–chemical characterization. *European Polymer Journal*, *49*(11), 3713–3721. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2013.08.014>
- Gupta, R. K., Gupta, K., Sharma, A., Das, M., Ansari, I. A., & Dwivedi, P. D. (2017). Health Risks and Benefits of Chickpea (*Cicer arietinum*) Consumption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *65*(1), 6–22. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02629>
- Habib, M., Singh, S., Jan, S., Jan, K., & Bashir, K. (2025). The future of the future foods: Understandings from the past towards SDG-2. *Npj Science of Food*, *9*(1), 138. <https://doi.org/10.1038/s41538-025-00484-x>
- Haile, M., & Kang, W. H. (2019). Antioxidant Activity, Total Polyphenol, Flavonoid and Tannin Contents of Fermented Green Coffee Beans with Selected Yeasts. *Fermentation*, *5*(1), 29. <https://doi.org/10.3390/fermentation5010029>
- Hertzler, S. R., Lieblein-Boff, J. C., Weiler, M., & Allgeier, C. (2020). Plant Proteins: Assessing Their Nutritional Quality and Effects on Health and Physical Function. *Nutrients*, *12*(12). <https://doi.org/10.3390/nu12123704>
- Hilgendorf, K., Wang, Y., Miller, M. J., & Jin, Y.-S. (2024a). Precision fermentation for improving the quality, flavor, safety, and sustainability of foods. *Current Opinion in Biotechnology*, *86*, 103084. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2024.103084>
- Hilgendorf, K., Wang, Y., Miller, M. J., & Jin, Y.-S. (2024b). Precision fermentation for improving the quality, flavor, safety, and sustainability of foods. *Current Opinion in Biotechnology*, *86*, 103084. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2024.103084>
- Hrubša, M., Siatka, T., Nejmanová, I., Vopršalová, M., Kujovská Krčmová, L., Matoušová, K., Javorská, L., Macáková, K., Mercolini, L., Remião, F., Mátuš, M., Mladěnka, P., & on behalf of the OEMONOM. (2022). Biological Properties of Vitamins of the B-Complex, Part 1: Vitamins B1, B2, B3, and B5. *Nutrients*, *14*(3), 484. <https://doi.org/10.3390/nu14030484>
- Jayaram, V. B., Rezaei, M. N., Cuyvers, S., Verstrepen, K. J., Delcour, J. A., & Courtin, C. M. (2014). Ethanol at Levels Produced by *Saccharomyces cerevisiae* during Wheat Dough Fermentation Has a Strong Impact on Dough Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *62*(38), 9326–9335. <https://doi.org/10.1021/jf502547a>
- Jood, S. (2012). Effect of Germination and Probiotic Fermentation on pH, Titratable Acidity, Dietary Fibre, β -Glucan and Vitamin Content of Sorghum Based Food Mixtures. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, *02*(09). <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000164>
- Kaur, K., Toor, B. S., Kataria, A., & Sasamalo, M. M. (2025). Potential of Underutilized Legumes Toward Nutritional Security and Diversity. *Legume Science*, *7*(4), e70059. <https://doi.org/10.1002/leg3.70059>
- Kaźmierczak-Siedlecka, K., Folwarski, M., Skonieczna-Żydecka, K., Ruskowski, J., & Makarewicz, W. (2020). The use of *Lactobacillus plantarum* 299v (DSM 9843) in cancer patients receiving home enteral nutrition – study protocol for a randomized, double-blind, and placebo-controlled trial. *Nutrition Journal*, *19*(1), 98. <https://doi.org/10.1186/s12937-020-00598-w>
- Knez, E., Kadac-Czapska, K., & Grembecka, M. (2023). Effect of Fermentation on the Nutritional Quality of the Selected Vegetables and Legumes and Their Health Effects. *Life*, *13*(3), 655. <https://doi.org/10.3390/life13030655>
- Kraml, P. (2017). The Role of Iron in the Pathogenesis of Atherosclerosis. *Physiological Research*, *S55–S67*. <https://doi.org/10.33549/physiolres.933589>
- Kryachko, Y., Arasaratnam, L., House, J. D., Ai, Y., Nickerson, M. T., Korber, D. R., & Tanaka, T. (2025). Microbial protein production during fermentation of starch-rich legume flours using *Aspergillus oryzae* and *Lactobacillus plantarum*

- starter cultures. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 139(4), 288–295. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2024.12.015>
- Kumitch, H. M., Stone, A., Nosworthy, M. G., Nickerson, M. T., House, J. D., Korber, D. R., & Tanaka, T. (2020). Effect of fermentation time on the nutritional properties of pea protein-enriched flour fermented by *Aspergillus oryzae* and *Aspergillus niger*. *Cereal Chemistry*, 97(1), 104–113. <https://doi.org/10.1002/cche.10234>
- LeBlanc, J. G., Chain, F., Martín, R., Bermúdez-Humarán, L. G., Courau, S., & Langella, P. (2017). Beneficial effects on host energy metabolism of short-chain fatty acids and vitamins produced by commensal and probiotic bacteria. *Microbial Cell Factories*, 16(1), 79. <https://doi.org/10.1186/s12934-017-0691-z>
- Lin, C.-H., Wei, Y.-T., & Chou, C.-C. (2006). Enhanced antioxidative activity of soybean koji prepared with various filamentous fungi. *Food Microbiology*, 23(7), 628–633. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2005.12.004>
- Liu, T., Wang, M., Shen, Y., & Lyu, B. (2025). Differences in processing strategies between non-soy legumes and soybean: A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1674400>
- López-Torrejón, G., Salcedo, G., Martín-Esteban, M., Díaz-Perales, A., Pascual, C. Y., & Sánchez-Monge, R. (2003). Len c 1, a major allergen and vicilin from lentil seeds: Protein isolation and cDNA cloning. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 112(6), 1208–1215. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2003.08.035>
- Lv, Z., Zhang, Z., Wang, F., Guo, J., Zhao, X., & Zhao, J. (2022). Effects of Dietary Fiber Type on Growth Performance, Serum Parameters and Fecal Microbiota Composition in Weaned and Growing-Finishing Pigs. *Animals*, 12(12), 1579. <https://doi.org/10.3390/ani12121579>
- Lysne, V., & Strandler, H. S. (2023). Riboflavin: A scoping review for Nordic Nutrition Recommendations 2023. *Food & Nutrition Research*, 67, 10.29219/fnr.v67.10315. <https://doi.org/10.29219/fnr.v67.10315>
- Magro, A. E. A., Silva, L. C., Rasesa, G. B., & de Castro, R. J. S. (2019). Solid-state fermentation as an efficient strategy for the biotransformation of lentils: Enhancing their antioxidant and antidiabetic potentials. *Bioresources and Bioprocessing*, 6(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s40643-019-0273-5>
- Mani-López, E., Ramirez-Corona, N., & López-Malo, A. (2023). Advances in probiotic incorporation into cereal-based baked foods: Strategies, viability, and effects—A review. *Applied Food Research*, 3(2), 100330. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100330>
- Martins, T., Barros, A. N., Rosa, E., & Antunes, L. (2023). Enhancing Health Benefits through Chlorophylls and Chlorophyll-Rich Agro-Food: A Comprehensive Review. *Molecules*, 28(14), 5344. <https://doi.org/10.3390/molecules28145344>
- Ministerstwo Zdrowia, Departament Zdrowia Publicznego 2025, Odpowiedź na petycję w sprawie promocji spożycia roślin strączkowych. ZPN.055.4.2025.KM Dostępne na: <https://www.gov.pl/web/zdrowie/petycja-z-18-listopada-2025-roku-w-sprawie-promocji-spozycia-roslin-straczkowych> (dostęp: 03.02.2026).
- Moeen-Ul-Haq, Babar, A. N., Hassan, M. K., Ullah, F., & Ullah, A. (2022). Role of *Lactobacillus plantarum* 299v versus Placebo in symptomatic improvement of irritable bowel syndrome patients. *Journal of the Pakistan Medical Association*, 72(3), 404–408. <https://doi.org/10.47391/JPMA.0758>
- Mohammed, I., Ahmed, A. R., & Senge, B. (2014). Effects of chickpea flour on wheat pasting properties and bread making quality. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1902–1910. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0733-9>
- Mudoor Soresh, M., Willing, B. P., & Bourrie, B. C. T. (2023). Opportunities and Challenges of Understanding Community Assembly in Spontaneous Food Fermentation. *Foods*, 12(3), 673. <https://doi.org/10.3390/foods12030673>
- Nazeer, M., Waheed, H., Saeed, M., Ali, S. Y., Choudhary, M. I., Ul-Haq, Z., & Ahmed, A. (2019). Purification and Characterization of a Nonspecific Lipid Transfer Protein 1 (nsLTP1) from Ajwain (*Trachyspermum ammi*) Seeds. *Scientific Reports*, 9(1), 4148. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40574-x>
- Nielsen, M. B., Meyer, A. S., & Arnau, J. (2024). The Next Food Revolution Is Here: Recombinant Microbial Production of Milk and Egg Proteins by Precision Fermentation. *Annual Review of Food Science and Technology*, 15(Volume 15, 2024), 173–187. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-072023-034256>
- Nobanee, H., & Shanti, H. Z. (2025). Assessing risk management trends in food security research. *Environment, Development and Sustainability*, 27(6), 12393–12414. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04462-3>
- Ogbole, O. O., Akin-Ajani, O. D., Ajala, T. O., Ogunniyi, Q. A., Fettke, J., & Odeku, O. A. (2023). Nutritional and pharmacological potentials of orphan legumes: Subfamily faboideae. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15493>
- Oh, I. K., Bae, I. Y., & Lee, H. G. (2014). *In vitro* starch digestion and cake quality: Impact of the ratio of soluble and insoluble dietary fiber. *International Journal of Biological Macromolecules*, 63, 98–103. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.10.038>
- Okaiyeto, S. A., Liu, D., Zhang, C., Bai, J.-W., Chen, C., Sharma, P., Venugopal, A. P., Asiamah, E., Ketemepi, H. K., Imadegbor, F. A., Gabriel, O. T., Lv, W., & Xiao, H.-W. (2025). Anti-nutrients of plant-based food: Physicochemical properties, effects on health and degradation techniques- a comprehensive review. *Journal of Future Foods*. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2025.06.022>
- Ozolina, K., Sarenkova, I., & Muizniece-Brasava, S. (2023). *The anti-nutritional factors of legumes and their treatment possibilities: A review*. 68–76. <https://doi.org/10.22616/RRD.29.2023.010>
- Palacín, A., Gómez-Casado, C., Rivas, L. A., Aguirre, J., Tordesillas, L., Bartra, J., Blanco, C., Carrillo, T., Cuesta-Herranz, J., de Frutos, C., Álvarez-Eire, G. G., Fernández, F. J., Gamboa, P., Muñoz, R., Sánchez-Monge, R., Sirvent, S., Torres, M. J., Varela-Losada, S., Rodríguez, R., ... Díaz-Perales, A. (2012). Graph Based Study of Allergen Cross-Reactivity of Plant Lipid Transfer Proteins (LTPs) Using Microarray in a Multicenter Study. *PLoS ONE*, 7(12), e50799. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050799>
- Park, J., Woo, S.-H., Park, J.-D., & Sung, J. M. (2021). Changes in physicochemical properties of rice flour by fermentation with koji and its potential use in gluten-free noodles. *Journal of Food Science*, 86(12), 5188–5199. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15956>

- Peñas, E., Martínez-Villaluenga, C., & Frias, J. (2017). *Sauerkraut*. 557–576. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802309-9.00024-8>
- Pereira, A. A., Yaverino-Gutierrez, M. A., Monteiro, M. C., Souza, B. A., Bachheti, R. K., & Chandel, A. K. (2025). Precision fermentation in the realm of microbial protein production: State-of-the-art and future insights. *Food Research International*, 200, 115527. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115527>
- Pérez-Rodrigo, C., Gil, Á., González-Gross, M., Ortega, R. M., Serra-Majem, L., Varela-Moreiras, G., & Aranceta-Bartrina, J. (2016). Clustering of Dietary Patterns, Lifestyles, and Overweight among Spanish Children and Adolescents in the ANIBES Study. *Nutrients*, 8(1), 11. <https://doi.org/10.3390/nu8010011>
- Petruláková, M., & Valík, L. (2015). Legumes as Potential Plants for Probiotic Strain *Lactobacillus rhamnosus* GG. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 63(5), 1505–1511. <https://doi.org/10.11118/actaun201563051505>
- Renault, H., Alber, A., Horst, N. A., Basilio Lopes, A., Fich, E. A., Kriegshauser, L., Wiedemann, G., Ullmann, P., Herrgott, L., Erhardt, M., Pineau, E., Ehling, J., Schmitt, M., Rose, J. K. C., Reski, R., & Werck-Reichhart, D. (2017). A phenol-enriched cuticle is ancestral to lignin evolution in land plants. *Nature Communications*, 8(1), 14713. <https://doi.org/10.1038/ncomms14713>
- Romano, A., Gallo, V., Ferranti, P., & Masi, P. (2021). Lentil flour: Nutritional and technological properties, *in vitro* digestibility and perspectives for use in the food industry. *Current Opinion in Food Science*, 40, 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.04.003>
- S. Santos, C., Silva, B., M. P. Valente, L., Gruber, S., & W. Vasconcelos, M. (2020). The Effect of Sprouting in Lentil (*Lens culinaris*) Nutritional and Microbiological Profile. *Foods*, 9(4), 400. <https://doi.org/10.3390/foods9040400>
- Šalić, A., & Šamec, D. (2022). Changes in the content of glucosinolates, polyphenols and carotenoids during lactic-acid fermentation of cruciferous vegetables: A mini review. *Food Chemistry: X*, 16, 100457. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100457>
- Samal, I., Bhoi, T. K., Raj, M. N., Majhi, P. K., Murmu, S., Pradhan, A. K., Kumar, D., Paschapur, A. U., Joshi, D. C., & Guru, P. N. (2023). Underutilized legumes: Nutrient status and advanced breeding approaches for qualitative and quantitative enhancement. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1110750>
- Samtiya, M., Aluko, R. E., & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>
- Sánchez-Monge, R., Pascual, C. Y., Díaz-Perales, A., Fernández-Crespo, J., Martín-Esteban, M., & Salcedo, G. (2000). Isolation and characterization of relevant allergens from boiled lentils. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 106(5), 955–961. <https://doi.org/10.1067/mai.2000.109912>
- Senanayake, D., Torley, P. J., Chandrapala, J., & Terefe, N. S. (2023a). Microbial Fermentation for Improving the Sensory, Nutritional and Functional Attributes of Legumes. *Fermentation*, 9(7), 635. <https://doi.org/10.3390/fermentation9070635>
- Senanayake, D., Torley, P. J., Chandrapala, J., & Terefe, N. S. (2023b). Microbial Fermentation for Improving the Sensory, Nutritional and Functional Attributes of Legumes. *Fermentation*, 9(7), 635. <https://doi.org/10.3390/fermentation9070635>
- Singh, R. K., Kukrety, A., Sharma, O. P., Baranwal, S., Atray, N., & Ray, S. S. (2016). Study of a novel phenolic-ester as antioxidant additive in lube, biodiesel and blended diesel. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 37, 27–31. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.03.029>
- Skowron, K., Budzyńska, A., Grudlewska-Buda, K., Wiktorczyk-Kapischke, N., Andrzejewska, M., Walecka-Zacharska, E., & Gospodarek-Komkowska, E. (2022). Two Faces of Fermented Foods—The Benefits and Threats of Its Consumption. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.845166>
- Socrates, G. (2001). *Infrared and Raman characteristic group frequencies: Tables and charts*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Infrared-and-Raman-characteristic-group-frequencies-Socrates/c13c5a33c987b1483b8ac9a06db0f4f51b7c23f9>
- Srivastava, R. K., Yetgin, A., & Srivastava, S. (2025). The role of legume roots in carbon sequestration, soil health enhancement, and salinity mitigation under climate change: A comprehensive review. *Soil and Tillage Research*, 253, 106656. <https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106656>
- Sun, X., He, S., Ye, Y., Cao, X., Liu, H., Wu, Z., Yue, J., Jin, R., & Sun, H. (2020). Combined effects of pH and thermal treatments on IgE-binding capacity and conformational structures of lectin from black kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 329, 127183. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127183>
- Suwannasom, N., Kao, I., Pruß, A., Georgieva, R., & Bäuml, H. (2020a). Riboflavin: The Health Benefits of a Forgotten Natural Vitamin. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3), 950. <https://doi.org/10.3390/ijms21030950>
- Suwannasom, N., Kao, I., Pruß, A., Georgieva, R., & Bäuml, H. (2020b). Riboflavin: The Health Benefits of a Forgotten Natural Vitamin. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3), 950. <https://doi.org/10.3390/ijms21030950>
- Torres, S., Verón, H., Contreras, L., & Isla, M. I. (2020). An overview of plant-autochthonous microorganisms and fermented vegetable foods. *Food Science and Human Wellness*, 9(2), 112–123. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2020.02.006>
- Towo, E., Matuschek, E., & Svanberg, U. (2006). Fermentation and enzyme treatment of tannin sorghum gruels: Effects on phenolic compounds, phytate and *in vitro* accessible iron. *Food Chemistry*, 94(3), 369–376. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.027>
- Trojan, N., & Satora, P. (2017). PROBIOTYKI I ICH POTENCJALNE WŁAŚCIWOŚCI ANTYOKSYDACYJNE. *Advancements of Microbiology*, 56(1), 18–27. <https://doi.org/10.21307/PM-2017.56.1.018>
- Umani, K., Zhang, C., McGee, R. J., Vandemark, G. J., & Sankaran, S. (2024). A pulse crop dataset of agronomic traits and multispectral images from multiple environments. *Data in Brief*, 53, 110013. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.110013>

- Van Winkle, R. C., & Chang, C. (2014). The Biochemical Basis and Clinical Evidence of Food Allergy Due to Lipid Transfer Proteins: A Comprehensive Review. *Clinical Reviews in Allergy & Immunology*, 46(3), 211–224. <https://doi.org/10.1007/s12016-012-8338-7>
- Vurro, F., De Angelis, D., Squeo, G., Caponio, F., Summo, C., & Pasqualone, A. (2024). Exploring Volatile Profiles and De-Flavoring Strategies for Enhanced Acceptance of Lentil-Based Foods: A Review. *Foods*, 13(16), 2608. <https://doi.org/10.3390/foods13162608>
- Wei, C., Ge, Y., Zhao, S., Liu, D., Jiliu, J., Wu, Y., Hu, X., Wei, M., Wang, Y., Wang, W., Wang, L., & Cao, L. (2022). Effect of Fermentation Time on Molecular Structure and Physicochemical Properties of Corn Ballast Starch. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.885662>
- Wood, B. J. B. (2016). Fermentation, Origins and Applications. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00135-9>
- Xiao, Y., Huang, Y., Chen, Y., Fan, Z., Chen, R., He, C., Li, Z., & Wang, Y. (2021). Effects of Solid-State Fermentation with *Eurotium cristatum* YL-1 on the Nutritional Value, Total Phenolics, Isoflavones, Antioxidant Activity, and Volatile Organic Compounds of Black Soybeans. *Agronomy*, 11(6), 1029. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061029>
- Xiao, Y., Wang, L., Rui, X., Li, W., Chen, X., Jiang, M., & Dong, M. (2015). Enhancement of the antioxidant capacity of soy whey by fermentation with *Lactobacillus plantarum* B1–6. *Journal of Functional Foods*, 12, 33–44. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.10.033>
- Yılmaz Tuncel, N., Polat Kaya, H., Andaç, A. E., Korkmaz, F., & Tuncel, N. B. (2025). A Comprehensive Review of Antinutrients in Plant-Based Foods and Their Key Ingredients. *Nutrition Bulletin*, 50(2), 171–205. <https://doi.org/10.1111/nbu.12732>
- Zarzycki, P., Wirkijowska, A., & Pankiewicz, U. (2024). Functional Bakery Products: Technological, Chemical and Nutritional Modification. *Applied Sciences*, 14(24), 12023. <https://doi.org/10.3390/app142412023>
- Zhao, Y., Zhang, J., Wei, Y., Ai, L., Ying, D., & Xiao, X. (2020). Improvement of Bread Quality by Adding Wheat Germ Fermented with *Lactobacillus plantarum* dy-1. *Journal of Food Quality*, 2020(1), 9348951. <https://doi.org/10.1155/2020/9348951>
- Zhou, X., Du, H., Jiang, M., Zhou, C., Deng, Y., Long, X., & Zhao, X. (2021). Antioxidant Effect of *Lactobacillus fermentum* CQPC04-Fermented Soy Milk on D-Galactose-Induced Oxidative Aging Mice. *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.727467>
- Zvezdanović, J., & Marković, D. (2009). Copper, iron, and zinc interactions with chlorophyll in extracts of photosynthetic pigments studied by VIS spectroscopy. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 83(9), 1542–1546. <https://doi.org/10.1134/S0036024409090222>

4.3.4. Pozostałe osiągnięcia

Istotnym wątkiem badawczym powiązany z kolejnymi osiągnięciami naukowymi były analizy prowadzone w ramach projektu pt. „Systemy produkcji i pakowania żywności zapewniające zachowanie jej bioaktywnych składników ważnych w profilaktyce chorób cywilizacyjnych”, finansowanego ze środków Ministra Edukacji i Nauki w programie „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” (2019–2023; nr 029/RID/2018/19). Badania realizowano w ramach podzadania 5.2. „Metody przetwarzania surowców pochodzenia grzybowego w celu uzyskania żywności wzbogaconej w substancje aktywne biologicznie” (Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.7.), pod kierunkiem dr hab. Ewy Jabłońskiej-Ryś prof. UP, która była koordynatorką zespołu badawczego, inicjatorką i autorką koncepcji badań oraz pomysłodawczynią nowatorskiego podejścia do wykorzystania autochtonicznej mikrobioty grzybów jadalnych w projektowaniu żywności funkcjonalnej.

Celem badań była kompleksowa charakterystyka rodzimych bakterii rozwijających się w trakcie spontanicznej fermentacji owocników grzybów jadalnych oraz ocena potencjału technologicznego i funkcjonalnego wyizolowanych bakterii kwasu mlekowego. Moją rolą było prowadzenie analiz mikrobiologicznych i molekularnych oraz ocena właściwości funkcjonalnych izolowanych drobnoustrojów, z uwzględnieniem ich zastosowania w technologii żywności i jako potencjalnych kultur probiotycznych.

Po pięciu dobach fermentacji owocników pieczarki (*Agaricus bisporus*) dokonałam izolacji materiału mikrobiologicznego. W uzyskanych próbkach zidentyfikowano przedstawicieli LAB, w tym: *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactiplantibacillus paraplantarum*, *Lactococcus lactis* oraz *Leuconostoc mesenteroides*.

Identyfikację szczepów przeprowadziłam przy użyciu metod molekularnych i proteomicznych, w tym amplifikacji i sekwencjonowania fragmentu genu 16S rRNA oraz analiz Multiplex PCR, a uzyskane sekwencje poddano szczegółowej analizie bioinformatycznej w celu określenia przynależności filogenetycznej. Dodatkowo wykorzystano MALDI-TOF Biotyper, co pozwoliło na precyzyjne potwierdzenie identyfikacji gatunkowej.

W kolejnym etapie badań przeprowadziłam kompleksową charakterystykę mikrobiologiczną i fizykochemiczną wyizolowanych szczepów, obejmującą analizę cech morfologicznych, porównanie zdolności do produkcji kwasu mlekowego oraz aktywności enzymu katalazy. Równolegle analizowałam właściwości technologiczne szczepów, w tym m. in. dynamikę zakwaszania surowca, wykorzystanie alternatywnych źródeł węgla oraz profil fermentacji węglowodanów charakterystycznych dla owocników grzybów. Dodatkowo wykonałam szereg badań analizujących właściwości funkcjonalne, które miały na celu ocenę potencjału probiotycznego wyizolowanych drobnoustrojów (w tym tolerancę na niskie pH, odporność na sole żółciowe, hydrofobowość komórek oraz zdolność do produkcji egzopolisacharydów).

Uzyskane wyniki umożliwiły identyfikację rodzimych bakterii zasiedlających *Agaricus bisporus* oraz wskazanie szczepów o wysokim potencjale aplikacyjnym w fermentacji kierowanej. Wyizolowane LAB, w tym *Lactiplantibacillus plantarum*, wykazały korzystny profil metaboliczny, zdolność do szybkiego zakwaszania surowca oraz fermentację charakterystycznych cukrów grzybowych, co czyni je obiecującymi kandydatami do opracowania naturalnych kultur startowych o właściwościach funkcjonalnych i probiotycznych.

Na podstawie przeprowadzonych analiz oraz selekcji izolatów pod kątem pożądanых cech (oraz założonych kryteriów selekcyjnych) wytypowano nowe szczepy bakterii, *Lactiplantibacillus plantarum* EK3 i EK11, jako najbardziej perspektywiczne do dalszych badań nad fermentacją kierowaną.

Rezultaty powyższych badań (przedstawione w publikacji: **Skrzypczak, K.; Gustaw, K.; Jabłońska-Ryś, E.; Sławińska, A.; Gustaw, W.; Winiarczyk, S. Spontaneously fermented fruiting bodies of *Agaricus bisporus* as a valuable source of new isolates of lactic acid bacteria with functional potential. *Foods*, 2020, 9(11), 1631. <https://doi.org/10.3390/foods9111631>) podkreślają innowacyjność prowadzonych prac, ponieważ po raz pierwszy przeprowadzono kompleksową analizę mikrobiologiczną, molekularną, technologiczną oraz funkcjonalną szczepów LAB wyizolowanych ze spontanicznie fermentowanych owocników grzybów jadalnych. Uzyskane wyniki stanowią podstawę do dalszych badań nad wykorzystaniem wyselekcjonowanych mikroorganizmów natywnego mikrobiomu pieczarki dwuzarodnikowej w projektowaniu żywności funkcjonalnej, a także do opracowania metod fermentacji wymuszonej, zwiększających wartość**

biologiczną produktów grzybowych oraz ich potencjalne zastosowanie w profilaktyce chorób cywilizacyjnych. Realizacja postawionego problemu badawczego umożliwiła również stworzenie podstaw naukowych dla wykorzystania rodzimych LAB, obecnych podczas spontanicznej fermentacji grzybów jadalnych, w projektowaniu żywności wzbogaconej w substancje biologicznie aktywne. **Otrzymane rezultaty mają zarówno znaczenie poznawcze, jak i aplikacyjne – wpisują się w rozwój innowacyjnych metod przetwarzania surowców grzybowych oraz podnoszą wartość naukową i praktyczną prowadzonych badań.**

Ponadto, zdeponowałam w GenBank sekwencję genu 16S rRNA *Lactiplantibacillus plantarum* EK11 (MW040528.1; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MW040528.1>), co stanowi formalne potwierdzenie identyfikacji szczepu i zapewnia jego dostępność dla społeczności naukowej. Szczep ten wykorzystano następnie w dalszych badaniach nad kontrolowaną fermentacją mlekową surowców grzybowych.

Opisane badania prezentują nowatorskie podejście do wykorzystania autochtonicznej mikrobioty grzybów jadalnych (*Agaricus bisporus*) w projektowaniu żywności funkcjonalnej, łącząc zaawansowane metody identyfikacji molekularnej, proteomicznej i bioinformatycznej z oceną potencjału probiotycznego i technologicznego izolowanych szczepów LAB.

Wyizolowane bakterie wykazały korzystny profil metaboliczny, zdolność do szybkiego zakwaszania surowca oraz fermentacji charakterystycznych cukrów grzybowych, co umożliwiła opracowanie naturalnych starterów o właściwościach funkcjonalnych i probiotycznych. **Wyniki przeprowadzonych analiz poszerzają wiedzę o mikrobiocie grzybów, stanowią podstawę do tworzenia innowacyjnych produktów żywnościowych i przyczyniają się do rozwoju dyscypliny technologii żywności i żywienia.**

Kolejny nurt prowadzonych przeze mnie badań koncentrował się na wykorzystaniu fermentacji mlekowej jako narzędzia technologicznego w projektowaniu innowacyjnych, funkcjonalnych wyrobów i dodatków do żywności, przeznaczonych do łatwej implementacji oraz wielokierunkowego zastosowania w przemyśle spożywczym. Badania te realizowałam we współpracy z Uniwersytetem Medycznym w Lublinie oraz Uniwersytetem Przyrodniczym we Wrocławiu.

W pierwszym etapie wspólnych badań przygotowałam soki z buraka ćwikłowego w wariacie niefermentowanym oraz fermentowanym z udziałem probiotycznego szczepu *Lactiplantibacillus plantarum* 299v. Otrzymane surowce poddano następnie suszeniu metodą liofilizacji oraz suszenia rozpyłowego z dodatkiem wybranych nośników funkcjonalnych, uzyskując proszki o zróżnicowanym składzie oraz właściwościach technologicznych. Głównym celem naszych badań była ocena wpływu fermentacji oraz rodzaju zastosowanego nośnika na właściwości fizykochemiczne i aktywność biologiczną otrzymanych formułacji, ze szczególnym uwzględnieniem potencjału antyoksydacyjnego, antyglukacyjnego i chemoprotekcyjnego.

W analizowanych wariantach produktów określono skład chemiczny, obejmujący analizę profilu związków fenolowych oraz oznaczenie produktów reakcji Maillarda, w tym hydroksymetylofurfuralu.

Aktywność biologiczną oceniano w modelach *in vitro* poprzez analizę zdolności neutralizacji wolnych rodników, hamowania procesów nieenzymatycznej glikacji białek oraz wpływu badanych preparatów na proliferację komórek nowotworowych.

Uzyskane przez nas wyniki jednoznacznie wskazały, że fermentacja istotnie modyfikuje profil związków bioaktywnych, zwłaszcza pochodnych kwasów fenolowych, co znajduje odzwierciedlenie w zmienionej aktywności biologicznej proszków. Wykazaliśmy ponadto, że rodzaj nośnika funkcjonalnego stanowi czynnik silniej determinujący właściwości bioaktywne niż metoda suszenia. Produkty zawierające inulinę oraz oligofruktozę charakteryzowały się najwyższą aktywnością antyoksydacyjną, przy czym obecność oligofruktozy sprzyjała zwiększonemu tworzeniu hydroksymetylofurfuralu. Preparaty z dodatkiem Nutriose® (jeden z najnowszych i dotychczas jeszcze nieprzebadanych nośników o potencjale prebiotycznym) wykazywały działanie antyproliferacyjne wobec badanej linii komórkowej, wskazując na ich potencjał chemoprotekcyjny, natomiast proszki zawierające oligofruktozę stymulowały proliferację komórek nowotworowych w warunkach *in vitro*.

Rezultaty opisanych badań opublikowano w pracy: **Brzezowska, J., Skrzypczak, K., Radzki, W., Turkiewicz, I., Ziaja-Sołtys, M., Bogucka-Kocka, A., Wojdyło, A., & Michalska-Ciechanowska, A. (2023). Comparative study of antioxidant, antiglycation and chemoprotective potential of beetroot juice powder formulations with functional carriers. Food Bioscience, 55, 103049, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4407784>.**

Publikacja ta ma istotne znaczenie poznawcze i aplikacyjne, ponieważ wykazuje, że fermentacja mlekowa, w synergii z odpowiednio dobranymi nośnikami funkcjonalnymi, stanowi skuteczne narzędzie kształtowania właściwości biologicznych proszków buraczanych. W pracy dowiedziono, iż dobór nośników w technologii wytwarzania soków w proszku powinien uwzględniać nie tylko ich funkcję technologiczną, lecz także wpływ na aktywność biologiczną preparatów oraz aspekty bezpieczeństwa. Uzyskane wyniki rozszerzają dotychczasową wiedzę w zakresie projektowania żywności funkcjonalnej, wskazując, że składniki pełniące rolę nośników mogą istotnie determinować potencjał prozdrowotny produktu końcowego.

Wyniki wykazały, że rodzaj nośnika silnie determinuje właściwości bioaktywne proszków, wpływając na aktywność antyoksydacyjną, antyglykacyjną i chemoprotekcyjną, co umożliwia projektowanie produktów o zoptymalizowanym profilu biologicznym. **Opublikowane wyniki wskazują na wysoce nowatorskie i unikalne podejście technologiczne, polegające na integracji fermentacji soku buraka ćwikłowego z wykorzystaniem probiotycznego szczepu *L. plantarum* 299v, przy jednoczesnym zastosowaniu funkcjonalnych nośników. Na szczególne podkreślenie zasługuje wykorzystanie innowacyjnego składnika Nutriose®, charakteryzującego się potencjałem prebiotycznym i chemoprotekcyjnym, co dodatkowo wzmacnia oryginalność proponowanego rozwiązania. Przeprowadzone badania w istotny sposób poszerzają aktualny stan wiedzy w obszarze technologii żywności funkcjonalnej i chemoprotekcyjnej, tworząc unikalną**

podstawę naukową do opracowywania nowych produktów o ukierunkowanym działaniu prozdrowotnym, szczególnie w kontekście profilaktyki chorób cywilizacyjnych.

Realizacja badań zaplanowanych i koordynowanych przez dr Wojciecha Radzkiego nad wykorzystaniem polisacharydów grzybowych pozwoliła na poszerzenie dotychczasowego nurtu moich badań o nowe aspekty związane z projektowaniem żywności funkcjonalnej z wykorzystaniem surowców grzybowych. Tematyka badań, w których brałam czynny udział, dotyczyła wykorzystania polisacharydów grzybowych w modyfikacji właściwości funkcjonalnych i technologicznych produktów mlecznych, ze szczególnym uwzględnieniem jogurtów. Analizy koncentrowały się na określeniu wpływu dodatku polisacharydów rozpuszczalnych w wodzie, izolowanych z owocników bocznika ostrygowatego (*Pleurotus ostreatus*), na właściwości fizykochemiczne, teksturalne oraz biologiczne produktów, w tym ich potencjał antyoksydacyjny i stabilność podczas przechowywania.

W pierwszym etapie badań przygotowano surowiec mleczny wzbogacony polisacharydami w różnych stężeniach, który następnie poddano fermentacji z użyciem komercyjnych starterów jogurtowych, tworząc serię jogurtów (tzw. typu set). Przeprowadzono szczegółowe analizy parametrów fizykochemicznych, takich jak pH, zawartość rozpuszczalnych substancji i poziom synerезy, a także badania tekstury metodą analizy profilu tekstury (TPA). Równolegle oceniano aktywność biologiczną produktów, w tym zdolność neutralizacji wolnych rodników oraz potencjał antyoksydacyjny metodami FRAP i ABTS. Szczególną uwagę poświęcono określeniu zależności pomiędzy stężeniem polisacharydów a zmianami w strukturze i funkcjonalności produktów, uwzględniając zarówno aspekty technologiczne, jak i biologiczne.

Wyniki otrzymanych przez nas badań wykazały, że polisacharydy grzybowe mają istotny wpływ na cechy produktów finalnych – modyfikują strukturę i teksturę jogurtów, a jednocześnie zwiększają ich wartość funkcjonalną poprzez wzrost aktywności antyoksydacyjnej. Dodatkowo zaobserwowano, że wysokie stężenia dodatków mogą prowadzić do zwiększenia synerезy i zmian w konsystencji produktu, co podkreśla konieczność optymalizacji składu w celu zachowania równowagi pomiędzy funkcjonalnością biologiczną a właściwościami technologicznymi i sensorycznymi.

W niniejszym projekcie przeprowadzono kompleksową ocenę wpływu polisacharydów grzybowych na właściwości technologiczne, sensoryczne i biologiczne produktów, co stanowi istotny wkład w rozwój żywności funkcjonalnej. Wyniki analiz opublikowano w pracy: **Radzki, W., Skrzypczak, K., Sołowiej, B., Jabłońska-Ryś, E., & Gustaw, W. (2023). *Properties of yogurts enriched with crude polysaccharides extracted from Pleurotus ostreatus cultivated mushroom*. *Foods*, 12(21), 4033. <https://doi.org/10.3390/foods12214033>.**

Znaczenie i nowatorskość przedstawionych badań wynikają z opracowania praktycznych strategii projektowania produktów mlecznych o ukierunkowanej aktywności prozdrowotnej przy jednoczesnym zachowaniu wysokich walorów technologicznych i sensorycznych. Innowacyjność pracy polega na zastosowaniu naturalnych polisacharydów grzybowych pochodzących z *Pleurotus ostreatus* w projektowaniu fermentowanych napojów mlecznych, co umożliwi jednoczesną

optymalizację struktury, tekstury oraz aktywności biologicznej produktów. Podejście to poszerza aktualny stan wiedzy w obszarze żywności funkcjonalnej zawierającej surowce pochodzenia grzybowego, wyznacza nowe kierunki rozwoju technologii żywności i żywienia oraz wzmacnia potencjał innowacyjny rynku produktów prozdrowotnych.

4.3.5. Pozostałe wątki naukowe

Aktualnie w ramach realizacji projektu badawczego IV edycji konkursu Interprojekt (Związek Uczelni Lubelskich; INT/001/2025/IV-N) uczestniczę czynnie w zadaniu pt. *Wpływ fermentacji probiotycznej na aktywność przeciwdrobnoustrojową ekstraktów roślinnych wobec (wielo)lekoopornych bakterii izolowanych od ludzi i zwierząt* (Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.8.). Projekt realizowany jest we współpracy z Uniwersytetem Medycznym w Lublinie (Katedra i Zakład Mikrobiologii Farmaceutycznej), Katolickim Uniwersytetem Lubelskim im. Jana Pawła II (Katedra Chemii Biomedycznej i Analitycznej, Wydział Medyczny) oraz Politechniką Lubelską (Katedra Informatyzacji i Robotyzacji, Wydział Mechaniczny).

Celem projektu jest uzyskiwanie ekstraktów z wybranych ziół i roślin leczniczych o właściwościach prozdrowotnych przy użyciu fermentacji prowadzonej przez probiotyczne szczepy bakterii oraz ocena ich aktywności biologicznej, ze szczególnym uwzględnieniem działania przeciwutleniającego i przeciwbakteryjnego wobec szczepów (wielo)lekoopornych pochodzących od ludzi i zwierząt. Badania obejmują zarówno izolaty bakterii Gram-dodatnich (ziarniaki), jak i Gram-ujemnych (pałeczki).

Plan badań obejmuje również porównanie zawartości związków bioaktywnych w otrzymanych ekstraktach oraz ocenę wpływu fermentacji prowadzonej przez probiotyczne szczepy bakterii na ich właściwości funkcjonalne. Wyniki umożliwią określenie wpływu procesu fermentacji na powstawanie biologicznie aktywnych metabolitów wtórnych, które mogą wspierać strategie eradykacji patogenów i przeciwdziałania lekooporności, minimalizując zagrożenia zdrowotne u ludzi i zwierząt.

W ramach prowadzonych działań przygotowuję ekstrakty z surowców roślinnych o udokumentowanych właściwościach prozdrowotnych, m.in. majeranku, lawendy, oregano, łubinu, nawłoci i perzu, które poddawane są fermentacji z użyciem szczepów *Akkermansia muciniphila* oraz *Lactiplantibacillus plantarum* 299v. Następnie oceniana jest ich aktywność przeciwutleniająca i prozdrowotna, co umożliwi wstępną selekcję najbardziej obiecujących ekstraktów do dalszych badań eksperymentalnych i funkcjonalnych.

Kolejnym kierunkiem moich aktualnych badań jest realizacja zadania pt. *Ocena możliwości wykorzystania ekstraktów z nasion łubinu wąskolistnego i polisacharydów grzybowych oraz sproszkowanej wody po blanszowaniu i zalewy po kiszeniu grzybów w produkcji innowacyjnych mlecznych napojów prozdrowotnych* (program SUPRIM; nr umowy MEiN/2023/DPI/2862; Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.9.). Celem jest opracowanie metody otrzymywania nowego produktu mlecznego

wzbogaconego ekstraktem z nasion łubinu i polisacharydami grzybowymi oraz ocena technologicznej i funkcjonalnej przydatności sproszkowanej wody po blanszowaniu grzybów i zalewy po kiszeniu.

W ramach projektu przygotowuję ekstrakty roślinne i polisacharydy grzybowe, które poddawane są fermentacji prowadzonej z wykorzystaniem probiotycznej kultury startowej (starterowej), a następnie oceniana jest ich aktywność bioaktywna. Uzyskane wyniki umożliwią selekcję najbardziej obiecujących surowców, określenie ich wpływu na skład, właściwości reologiczne i funkcjonalne mleka oraz formułowanie rekomendacji dla przemysłowego zastosowania w produkcji innowacyjnych napojów mlecznych o podwyższonej wartości odżywczej i funkcjonalnej.

Kolejną tematyką powiązaną z moimi zainteresowaniami badawczymi, szczególnie w zakresie wpływu procesów fermentacyjnych na poprawę funkcjonalności żywności, jest mój nowy kierunek badań koncentrujący się na ocenie wybranych szczepów drożdży pod kątem produkcji metabolitów prozdrowotnych w fermentowanym chlebie na zakwasie. Realizacja analiz w ramach zadania badawczego projektu, zatytułowanego „*Evaluation of selected yeast strains for functional metabolite production in sourdough bread*”, jest możliwa dzięki ścisłej współpracy z zagranicznym ośrodkiem akademickim – Department of Agriculture, Food and Environment Uniwersytetu w Pizie, pod kierunkiem prof. Monici Agnolucci, specjalistki w biotechnologii mikrobiologicznej żywności. Projekt uzyskał finansowanie w ramach programu NAWA Bekker 2025 (Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.10.). Współpraca z zagraniczną jednostką naukową i możliwość przeprowadzenia w niej analiz zapewnia nie tylko wsparcie merytoryczne, lecz również dostęp do nowoczesnych technologii analizy mikrobiologicznej i przemian biochemicznych zachodzących surowcach roślinnych.

W ramach tematyki tego obszaru badawczego przeprowadzona będzie dokładna charakterystyka wybranych szczepów drożdży pod kątem filogenezy, przydatności technologicznej, potencjału probiotycznego oraz zdolności do wytwarzania bioaktywnych metabolitów, w tym kwasów organicznych i izomerów CLA. Dodatkowo wyniki uzyskanych analiz posłużą do wytypowania mikroorganizmów, które będą następnie praktycznie wykorzystane w produkcji tradycyjnego włoskiego pieczywa. Uzyskane produkty piekarnicze będą badane pod kątem aktywności przeciwzapalnej w modelach *ex vivo*, co umożliwi opracowanie starterów drożdżowych do produkcji innowacyjnych wyrobów piekarskich o ukierunkowanych właściwościach funkcjonalnych.

Ten nowy kierunek badań nie tylko poszerza dotychczasowy nurt moich prac nad fermentacją surowców roślinnych, lecz również rozwija moje kompetencje w analizach mikrobiologicznych i biochemicznych, uwzględniając jednocześnie kluczowe aspekty technologiczne istotne w produkcji żywności. Realizacja projektu pozwala na opracowanie praktycznych strategii projektowania żywności funkcjonalnej o wysokim potencjale prozdrowotnym.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury

W latach 2021–2026 prowadziłam intensywną i wieloaspektową działalność naukową, obejmującą współpracę z krajowymi i zagranicznymi ośrodkami badawczymi, której wymiernymi efektami są osiągnięcia publikacyjne, realizowane projekty badawcze oraz rozwój trwałych i nadal aktywnie kontynuowanych relacji naukowych.

W ramach współpracy z jednostkami krajowymi, takimi jak Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego w Poznaniu oraz Uniwersytet Jagielloński, uczestniczyłam w badaniach obejmujących m.in. izolację i sekwencjonowanie peptydów bioaktywnych, proskowanie fermentowanych napojów roślinnych, oznaczanie ryboflawiny w produktach spożywczych, analizy nanoLC-TIMS-MS/MS oraz badania polisacharydów i aktywności antyproliferacyjnej ekstraktów roślinnych i grzybowych. **Wyniki tych prac opublikowano w renomowanych czasopismach naukowych, takich jak International Journal of Food Science (2021), Food Bioscience (2023), Food Chemistry (2024) oraz LWT (2026).**

Przykładem innej istotnej aktywności prowadzonej równolegle w kilku instytucjach naukowych stanowi **przygotowanie projektu badawczego i uzyskanie dofinansowania w ramach konkursu Interprojekt, którego celem jest budowa interdyscyplinarnych zespołów badawczych funkcjonujących w ramach Związku Uczelni Lubelskich.** W ramach uzyskanego grantu (INT/001/2025/IV-N; Wykaz II.4.poz.8.; Załącznik 8 do Wykazu II.4. poz.8.) realizuję zadanie pt. *Wpływ fermentacji probiotycznej na aktywność przeciwdrobnoustrojową ekstraktów roślinnych wobec (wielo)lekoopornych bakterii izolowanych od ludzi i zwierząt* 01.09.2025–01.09.2026. **Badania prowadzone są aktualnie w interdyscyplinarnym i wieloinstytucjonalnym środowisku obejmującym: Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie (Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii – Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego i Gastronomii oraz Katedra Prewencji Weterynaryjnej i Chorób Ptaków, Wydział Medycyny Weterynaryjnej), Uniwersytet Medyczny w Lublinie (Katedra i Zakład Mikrobiologii Farmaceutycznej), Katolicki Uniwersytet Lubelski im. Jana Pawła II (Katedra Chemii Biomedycznej i Analitycznej, Wydział Medyczny) oraz Politechnika Lubelska (Katedra Informatyzacji i Robotyzacji, Wydział Mechaniczny).**

Kluczowym elementem mojego rozwoju naukowego była także aktywność międzynarodowa, w tym **roczny staż naukowy w School of Food Science, Washington State University (Pullman, USA), realizowany w okresie 16.09.2022–15.09.2023 (Załącznik 8 do Wykazu II.6.poz.3.),** podczas którego prowadziłam badania nad wykorzystaniem surowców z nasion roślin strączkowych w projektowaniu żywności funkcjonalnej oraz **uczestniczyłam w realizacji projektów USDA NIFA i Hatch Project, których efektem są publikacje w Journal of Food Science (2023) oraz Food and Bioprocess Technology (2025), która stanowi część osiągnięcia naukowego (P3) będącego podstawą postępowania habilitacyjnego.**

Kontynuacją rozwoju kompetencji badawczych był **staż naukowy w Faculty of Land and Food Systems, The University of British Columbia (Vancouver, Kanada), realizowany w okresie 07.01.2024–31.05.2024** w ramach stypendium Fundacji Państwa A. i P. Dekaban, podczas którego prowadziłam zaawansowane badania nad nanofibrylami białek roślinnych oraz ich potencjalnego zastosowaniem w projektowaniu żywności, (Załącznik 8 do Wykazu II.6.poz.4.). Zdobyte doświadczenie oraz opanowanie nowoczesnych metod badawczych istotnie poszerzyły mój warsztat naukowy, umożliwiając implementację zaawansowanych technik analitycznych i technologicznych w prowadzonych przeze mnie aktualnie badaniach, a także rozwój nowych kierunków badawczych w obszarze funkcjonalnych składników żywności.

W toku rozwijanej współpracy międzynarodowej nawiązałam kontakt naukowy z **dr Evanem Craine’em z The Land Institute (Kansas, USA)**, co umożliwiło podjęcie ukierunkowanych badań nad wykorzystaniem *Onobrychis viciifolia* (esparcety siewnej) jako surowca w projektowaniu innowacyjnych, bezglutenowych produktów spożywczych o potencjale prozdrowotnym oraz znaczeniu środowiskowym. **Uzyskane dotychczas wyniki, potwierdzające zasadność aplikacyjną badanego surowca w kontekście rozwoju żywności funkcjonalnej, zostały zaprezentowane podczas konferencji „Żywność w zrównoważonym świecie” (23–24.09.2025, Lublin; Wykaz II.9.).** Badania są kontynuowane, a zgromadzone dane podlegają aktualnie pogłębionej analizie i opracowaniu w celu przygotowania publikacji w wysoko punktowanym, międzynarodowym czasopiśmie naukowym.

Istotnym elementem mojej działalności międzynarodowej była **mobilność dydaktyczna w ramach programu ERASMUS+ (STA), zrealizowana w dniach 11–15.10.2021 w Università di Pisa (Wykaz II.9.),** która stanowiła podstawę do nawiązania i rozwinięcia trwałej współpracy naukowej z prof. **Monicą Agnolucci, kierującą zespołem badawczym w Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali (DiSAAA-a), Università di Pisa (Włochy).** Współpraca ta zaowocowała realizacją wspólnych badań, których rezultatem była publikacja współautorska (P2), a także przygotowanie i złożenie wniosku projektowego, który uzyskał finansowanie w ramach programu **NAWA Bekker 2025 (BPN/BEK/2025/1/00025; Wykaz II.4.poz.10.; Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.10.).** Realizacja projektu zaplanowana jest na okres 9 miesięcy i będzie prowadzona w zagranicznej jednostce naukowej od września 2026 roku.

Uzupełnieniem mojej aktywności są liczne kursy specjalistyczne i szkolenia naukowe, w tym realizowane w renomowanych ośrodkach zagranicznych, które przyczyniły się do rozwoju kompetencji badawczych oraz budowy trwałej sieci współpracy naukowej. Nawiązane kontakty i współprace mają charakter długofalowy i są konsekwentnie rozwijane poprzez wspólne publikacje, projekty badawcze oraz mobilności naukowe, co szczegółowo przedstawiono w dalszej części autoreferatu (poz. 7.5).

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę

6.1. Działalność dydaktyczna

- Przygotowanie i prowadzenie zajęć dydaktycznych z przedmiotów:
 - *Metody skutecznego studiowania (Kierunek: Dietetyka, Biotechnologia)*
 - *Technologia potraw i napojów (Kierunek: Gastronomia i sztuka kulinarna)*
 - *Obsługa konsumenta (Kierunek: Gastronomia i sztuka kulinarna)*
 - *Technologia gastronomiczna/ Przemysłowa produkcja potraw- przedmiot do wyboru (Kierunek: Dietetyka)*
 - *Surowce i produkty roślinne w gastronomii (Kierunek: Gastronomia i sztuka kulinarna)*
 - *Technologia żywności 2 (Kierunek: Dietetyka)*
 - *Podstawy gastronomii (Kierunek: Turystyka i rekreacja)*
- Prowadzenie zajęć dydaktycznych w języku angielskim (wykłady i ćwiczenia) dla studentów zagranicznych w ramach programu wymiany międzynarodowej ERASMUS+ z przedmiotów:
 - *Food technology 2 – advanced*
 - *Plant-based raw materials and products in gastronomy*

➤ W latach 2017-2026 brałam czynny udział w opiece nad dyplomantami. Swoim promotorstwem objęłam **37 prac (w tym 19 magisterskich i 18 inżynierskich/licencjackich)** na Wydziale Nauk o Żywności i Biotechnologii (na kierunkach: Dietetyka, Biotechnologia, Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka, Gastronomia i Sztuka Kulinarna, Żywnienie Człowieka i Dietetyka). W tym czasie byłam również recenzentem **10 prac magisterskich** oraz **11 inżynierskich i licencjackich** realizowanych na kierunkach: Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka; Gastronomia i Sztuka Kulinarna; Dietetyka; Biotechnologia.

Pełną listę tematów prac dyplomowych (objętych promotorstwem oraz prac zrecenzowanych) przedstawiono poniżej:

- **Promotor prac dyplomowych:**

Lp.	Nr indeksu studenta	Kierunek	Temat pracy	Data obrony
1.	113522	Dietetyka Stac. IIS	Ocena poziomu wiedzy kobiet ciężarnych oraz karmiących piersią na temat bezpieczeństwa konsumpcji kawy i napojów kawowych w okresie ciąży i laktacji	26.06.2025
2.	100633	Dietetyka Stac. IIS	Wpływ mikrobioty jelitowej na funkcjonowanie osi mózgowo-jelitowej oraz znaczenie probiotyków w diecie wspierającej profilaktykę i leczenie wybranych zaburzeń psychicznych.	28.09.2022

3.	100652	Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka Stac. IIS	Porównanie przydatności technologicznej wybranych hydrokoloidów w produkcji innowacyjnych deserów alternatywnych dla konwencjonalnych wyrobów typu Panna cotta	12.07.2022
4.	100618	Dietetyka Stac. IIS	Możliwość zastosowania ekstraktu z <i>Panax ginseng</i> w dietoprofilaktyce chorób neurodegeneracyjnych.	12.07.2022
5.	91039	Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka Niestac. IIS	Ocena możliwości zastosowania mięty pieprzowej (<i>Mentha piperita</i>) jako dodatku funkcjonalnego w produkcji rzemieślniczych serów dojrzewających typu Camembert	20.09.2021
6.	102691	Dietetyka Stac. IS	Znaczenie żywności fermentowanej oraz probiotyków w dietoprofilaktyce niedoborów witamin z grupy B.	05.07.2021
7.	102698	Dietetyka Stac. IS	Rola i znaczenie probiotyków w prewencji i dietoterapii otyłości	05.07.2021
8.	102717	Dietetyka Stac. IS	Zwyczaje żywieniowe związane z pićm kawy oraz ocena stanu wiedzy dotyczącej wpływu tego napoju na organizm człowieka wśród osób w wieku 18-26 lat	05.07.2021
9.	96158	Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka Stac. IIS	Możliwości wykorzystania nasion roślin strączkowych do produkcji innowacyjnych deserów mrożonych	05.07.2021
10.	102771	Dietetyka Stac. IS	Rola i znaczenie żywności zawierającej probiotyki w profilaktyce chorób nowotworowych układu pokarmowego	05.07.2021
11.	100633	Dietetyka Stac. IS	Znaczenie diety w prewencji i leczeniu depresji	09.07.2020
12.	96037	Dietetyka Stac. IIS	Ocena właściwości prozdrowotnych i możliwości wykorzystania fermentowanego soku z buraka ćwikłowego (<i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i>) jako nośnika bakterii probiotycznych w diecie bezmlecznej	07.07.2020
13.	96054	Dietetyka Stac. IIS	Właściwości i możliwość wykorzystania fermentowanego soku z pomidora (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) w dietoterapii i profilaktyce chorób cywilizacyjnych	07.07.2020
14.	98451	Gastronomia i Sztuka Kulinarne Stac. IS	Modernistyczna kuchnia polska - opracowanie technologii innowacyjnego deseru	12.02.2020
15.	98479	Gastronomia i Sztuka Kulinarne Stac. IS	Zastosowanie fermentowanych surowców pochodzenia roślinnego w produkcji Sushi	12.02.2020
16.	98581	Dietetyka Niestac. IS	Rola mikrobioty jelitowej w organizmie człowieka oraz jej wpływ na oś jelitowo-mózgową	10.02.2020
17.	96158	Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka Stac. IS	Ocena możliwości wykorzystania probiotycznych szczepów bakterii do produkcji innowacyjnego deseru na bazie fermentowanych napojów z roślin strączkowych	10.02.2020
18.	94389	Biotechnologia Stac. IIS	Analiza wybranych właściwości probiotycznych bakterii <i>Lactobacillus plantarum</i> wyizolowanych z owocników pieczarki dwuzarodnikowej (<i>Agaricus bisporus</i>) po procesie fermentacji samorzutnej	27.09.2019
19.	94412	Biotechnologia Stac. IIS	Analiza wybranych właściwości probiotycznych bakterii kwasu mlekowego wyizolowanych z pieczarki dwuzarodnikowej po procesie samorzutnej fermentacji	27.09.2019

20.	94404	Biotechnologia Stac. IIS	Detekcja wybranych genów bakteriocyn w szczepie <i>Lactobacillus plantarum</i> wyizolowanym z owocników pieczarki dwuzarodnikowej (<i>Agaricus bisporus</i>) po procesie fermentacji samorzutnej	08.07.2019
21.	94286	Dietetyka Stac. IIS	Rola i znaczenie probiotyków w dietoprofilaktyce i dietoterapii chorób cywilizacyjnych	05.07.2019
22.	91115	Dietetyka Niestac. IIS	Probiotyki jako składniki żywności funkcjonalnej stosowanej w profilaktyce cukrzycy typu 2	14.02.2019
23.	93221	Dietetyka Niestac. IIS	Wykorzystanie probiotyków w produkcji żywności funkcjonalnej pochodzenia roślinnego i jej zastosowanie w profilaktyce chorób cywilizacyjnych	14.02.2019
24.	97982	Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka Stac. IS	Wykorzystanie napojów roślinnych do produkcji innowacyjnych, prozdrowotnych deserów	07.02.2019
25.	94130	Gastronomia i Sztuka Kulinarna Stac. IS	Wykorzystanie napojów roślinnych do sporządzania koktajli wzbogaconych naturalnymi składnikami bioaktywnymi	06.02.2019
26.	96015	Dietetyka Stac. IS	Rola owoców cytrusowych w żywieniowej profilaktyce chorób nowotworowych	18.10.2018
27.	90912	Biotechnologia Stac. IIS	Identyfikacja beztlenowych gatunków bakterii kwasu mlekowego wyizolowanych z owocników pieczarki dwuzarodnikowej (<i>Agaricus bisporus</i>) poddanych fermentacji samorzutnej	09.07.2018
28.	90842	Dietetyka Stac. IIS	Rola probiotyków w dietoterapii oraz ich wykorzystanie w produkcji fermentowanych napojów z surowców roślinnych	03.07.2018
29.	96037	Dietetyka Stac. IS	Znaczenie magnezu w diecie osób dorosłych	03.07.2018
30.	96054	Dietetyka Stac. IS	Rola probiotyków i prebiotyków w żywieniu pacjentów z zaburzeniami motoryki jelit	03.07.2018
31.	94389	Biotechnologia Stac. IS	Identyfikacja genów odpowiedzialnych za syntezę witaminy B12 wśród szczepów bakterii <i>L. plantarum</i>	08.02.2018
32.	94404	Biotechnologia Stac. IS	Wykorzystanie bakteriocyn produkowanych przez bakterie kwasu mlekowego jako alternatywy dla antybiotyków	08.02.2018
33.	94412	Biotechnologia Stac. IS	Identyfikacja potencjalnie probiotycznych szczepów <i>Lactobacillus plantarum</i> wykazujących zdolność do degradacji związków fitynowych	08.02.2018
34.	88870	Żywnienie Człowieka i Dietetyka Stac. IIS	Żywnienie i suplementacja osób cierpiących na chorobę Leśniowskiego-Crohna	11.07.2017
35.	89120	Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka Stac. IIS	Ocena możliwości zastosowania probiotycznego szczepu <i>Lactobacillus plantarum</i> 299v w produkcji fermentowanego soku z buraka ćwikłowego	07.07.2017
36.	94269	Dietetyka Stac. IS	Probiotyki jako składnik żywności funkcjonalnej stosowanej w profilaktyce chorób układu pokarmowego	06.07.2017
37.	96726	Żywnienie Człowieka i Dietetyka Stac. IIS	Wiedza i nawyki żywieniowe osób aktywnych fizycznie	06.07.2017

• **Recenzent prac dyplomowych**

Lp.	Nr indeksu studenta	Kierunek	Temat pracy	Data obrony
1.	100477	Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka stac. IIS	Właściwości fizykochemiczne napoju fermentowanego na bazie owsa z dodatkiem białek niekonwencjonalnych	08.07.2022
2.	100447	Biotechnologia stac. IIS	Analiza zmienności regeneratów tarczycy bajkalskiej przy użyciu markerów SCoT	08.07.2022
3.	100440	Biotechnologia stac. IIS	Charakterystyka wybranych szczepów bakterii występujących w polskich winach gronowych	07.07.2022
4.	102755	Dietetyka stac. IS	Dieta wegetariańska w profilaktyce i leczeniu chorób układu krążenia	05.07.2021
5.	102726	Dietetyka stac. IS	Mikrobiota człowieka- zmiany składu w zależności od sposobu żywienia i wpływ na stan zdrowia	28.06.2021
6.	98960	Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka stac. IS	Opracowanie synbiotycznego soku z buraków zawierającego drożdże probiotyczne <i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. <i>boulardii</i>	05.02.2021
7.	95996	Dietetyka stac. IIS	Wpływ sposobu odżywiania i stylu życia na starzenie się organizmu	08.09.2020
8.	90859	Dietetyka niestac. IIS	Spożycie oraz wiedza o żywności fermentowanej wśród kobiet ciężarnych	13.02.2020
9.	94192	Dietetyka niestac. IIS	Badanie zachowań żywieniowych wśród osób chorych na cukrzycę typu II	13.02.2020
10.	95756	Dietetyka niestac. IIS	Zapewnienie bezpieczeństwa zdrowotnego żywienia w świetle systemu HACCP w świadomości personelu kuchennego	13.02.2020
11.	98882	Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka stac. IS	Analiza <i>in silico</i> wybranych słodkich białek jako potencjalne źródło biologicznie aktywnych peptydów	04.02.2020
12.	91117	Dietetyka niestac. IIS	Analiza stanu wiedzy oraz zwyczajów żywieniowych matek karmiących piersią	14.02.2019
13.	97877	Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka stac. IS	Izolowanie i wstępna charakterystyka peroksydazy gwajakolowej z kielków soczewicy jadalnej – projekt doświadczenia	05.02.2019
14.	95972	Dietetyka stac. IS	Wegetarianizm jako alternatywny sposób odżywiania	26.09.2018
15.	90967	Biotechnologia stac. IIS	Selekcja wybranych szczepów bakterii jelitowych do produkcji kwasu mlekowego	09.07.2018
16.	90948	Biotechnologia stac. IIS	Wpływ warunków hodowli na produkcję kwasu bursztynowego przez wybrane izolaty bakterii jelitowych	05.07.2018
17.	96049	Dietetyka stac. IS	Zwyczaje żywieniowe osób chorujących na cukrzycę	25.06.2018
18.	96064	Dietetyka stac. IS	Tłuszcze roślinne w diecie i życiu codziennym kobiet	25.06.2018
19.	94989	Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka stac. IS	Badania nad otrzymywaniem pralin czekoladowych fortyfikowanych izolatami białka serwatkowego – projekt doświadczenia	27.02.2018
20.	94289	Dietetyka stac. IS	Rola żywienia i stylu życia w profilaktyce i leczeniu nadciśnienia tętniczego	10.07.2017
21.	86724	Dietetyka stac. IS	Żywność typu fast food w diecie studentów	30.06.2017

6.2. Działalność organizacyjna

W ramach działalności organizacyjnej pełniłam następujące funkcje i role:

Członkostwo w komisjach wydziałowych:

- Członek Wydziałowej Komisji ds. Jakości Kształcenia na Wydziale Nauk o Żywności i Biotechnologii w 2016 r.
- Członek Wydziałowej Komisji ds. Nauki i Współpracy z Zagranicą w kadencji 2021–2024 oraz 2024–2028

Członkostwo w stowarzyszeniach naukowych:

- Od grudnia 2013 r. do chwili obecnej- Członek Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności

Działalność związana z organizacją konferencji naukowych

- Członek Komitetu Organizacyjnego IX Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej Technologów Przetwórstwa Owoców i Warzyw „Owoce, Warzywa, Grzyby – Żywność i Technologia” (19–20.05.2016 r. Lublin)
- Członek Komitetu Organizacyjnego konferencji „XXIII Sesja Naukowa Sekcji Młodej Kadry Naukowej: Żywność – tradycja i nowoczesność” (24–25.05.2018 r. Lublin)
- Członek Komisji Naukowej VI Międzynarodowego Sympozjum Studenckich Kół Naukowych „Środowisko – Roślina – Zwierzę – Produkt” -członek komisji oceniającej wystąpienia studentów (24 kwietnia 2025 r. Lublin)
- Członek Komitetu Organizacyjnego międzynarodowej konferencji naukowej „Żywność w Zrównoważonym Świecie”, połączonej z Jubileuszem 20-lecia Wydziału Nauk o Żywności i Biotechnologii (23 - 24 września 2025 r. Lublin)
- Członek Komisji Naukowej VII Międzynarodowego Sympozjum Studenckich Kół Naukowych „Środowisko – Roślina – Zwierzę – Produkt” -członek komisji oceniającej wystąpienia studentów w Sekcji Nauk o Żywności i Biotechnologii (16 kwietnia 2026 r. Lublin)

6.3. Działalność popularyzująca naukę lub sztukę

Wielokrotnie uczestniczyłam w przedsięwzięciach z zakresu popularyzacji nauki, realizowanych zarówno na poziomie regionalnym, jak i ogólnopolskim, obejmujących festiwale nauki, konferencje, wykłady otwarte, konkursy przedmiotowe oraz wydarzenia medialne. Do najważniejszych form tej działalności należały:

Festiwale naukowe:

- **16.09.2012** – IX Lubelski Festiwal Nauki, udział w projekcie naukowym pt. „*Co kryje w sobie żelowa kapsuła?*”
- **17.09.2013** – X Lubelski Festiwal Nauki, udział w projekcie naukowym pt. „*Romantyczna kolacja z bakteriami – czyli probiotyki w żywności*”
- **30.05.2014** – Noc Uniwersytetów, udział w projekcie pt. „*Moje kalorie, mój talerz, moje zdrowie – gabinet porad dietetycznych*”
- **22–23.09.2014** – XI Lubelski Festiwal Nauki, udział w projekcie naukowym pt. „*Kanapka z bakterią?*”
- **19–25.09.2015** – XII Lubelski Festiwal Nauki, udział w projektach naukowych:
 - „*Owocowo-warzywny POWER, czyli jak z owoców i warzyw zbudować baterię?*” (UP079),
 - „*Warzywa w kolorach tęczy*” (UP111),
 - „*Detektywi żywności – czy wiesz, co jesz?*” (UP028)
- **24–30.09.2017** – XIV Lubelski Festiwal Nauki, udział w projekcie naukowym pt. „*Owocowo-warzywny POWER, czyli jak z owoców i warzyw zbudować baterię?*”
- **14–20.09.2024** – XX Lubelski Festiwal Nauki „Człowiek sercem nauki”, realizacja projektu pt. „*Owocowe lodożerki*” (UP362)

Udział w zespołach konkursowych:

- **22.04.2016** – członek Komisji Uniwersytetu Przyrodniczego podczas XL eliminacji okręgowych Olimpiady Wiedzy i Umiejętności Rolniczych w bloku „Gospodarstwo domowe i żywienie człowieka”, Zespół Szkół Rolniczych w Kijanach
- **21.04.2017** – członek jury XLI okręgowych eliminacji Olimpiady Wiedzy i Umiejętności Rolniczych, Zespół Szkół Rolniczych w Kijanach

Wystąpienia popularnonaukowe i prowadzone warsztaty edukacyjne:

- **07.05.2016** – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, wykład otwarty pt. „*Some interesting facts about kombucha*”
- **23.05.2017** – udział w nagraniu odcinka programu popularnonaukowego LOGIN: Nauka (TVP Lublin)
- **12.01.2018** – przeprowadzenie wykładu popularnonaukowego podczas eliminacji okręgowych XXII Olimpiady Wiedzy o Żywieniu i Żywności, Zespół Szkół nr 5 im. Jana Pawła II w Lublinie
- **07.12.2018** – Uniwersytet Trzeciego Wieku (UP w Lublinie), otwarty wykład popularnonaukowy pt. „*Właściwości ziół i roślin przyprawowych*”
- **09.08.2025** – udział w wydarzeniu „Lato z Radiem”, przeprowadzenie pokazu przygotowania lodów molekularnych z wykorzystaniem ciekłego azotu; aktywność zrealizowana w ramach programu

„Sieć badawcza uczelni przyrodniczych na rzecz rozwoju polskiego sektora mleczarskiego – projekt badawczy” (nr umowy: MEiN/2023/DPI/2862)

- **01.10.2024–31.07.2025** – Prowadzenie wykładów i warsztatów z zakresu technologii serowarstwa oraz wyrobu rzemieślniczych serów podpuszczkowych w ramach projektu „Rzemieślnicza produkcja żywności i kosmetyków w oparciu o naukę i praktykę – II edycja” (POPUL/SP/0144/2024/02, MNiSW)

7. Inne ważne informacje dotyczące kariery zawodowej

7.1. Dorobek publikacyjny

W poniższym zestawieniu wskaźnik Impact Factor (IF) został podany na podstawie bazy Journal Citation Reports (JCR) dla roku wydania publikacji z wyjątkiem publikacji z roku 2026, gdzie jego wartość została podana na podstawie ostatniej edycji JCR ed. 2024

Punktacja została podana na podstawie Wykazu Czasopism Punktowanych MNiSW/MEiN obowiązujących dla roku wydania publikacji z wyjątkiem: publikacji z 2017 i 2018 roku którym punkty zostały przypisane na podstawie „Wykazu czasopism naukowych zawierający historię czasopisma z publikowanych wykazów za lata 2013 – 2016”; publikacji z roku 2019- 2021 którym punkty zostały przypisane na podstawie „Komunikatu Ministerstwa Edukacji i Nauki z dnia 21 grudnia 2021 o zmianie i sprostowaniu komunikatu w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych”.

Punktacja za autorstwo monografii i rozdziałów monograficznych zostały przyznane na podstawie rozporządzeń obowiązujących w konkretnych latach opublikowanych prac.

➤ Publikacje naukowe przed uzyskaniem stopnia doktora

<i>Monografie i artykuły naukowe</i>	<i>N</i>	<i>Punkty MNiSW/MEiN</i>	<i>IF</i>
Monografie	-	-	-
Rozdziały w monografiach	12	55	-
Publikacje w czasopiśmie naukowym posiadającym Impact Factor IF	7	140	9,868
Publikacje w czasopiśmie naukowym nieposiadającym IF	7	80	-
Recenzowana publikacja naukowa w języku innym niż polski w zagranicznym czasopiśmie naukowym spoza list MNiSW o objętości co najmniej 0,5 arkusza	-	-	-
Publikacje popularnonaukowe	3	-	-
Razem	30	275	9,868

➤ **Publikacje naukowe po uzyskaniu stopnia doktora (z wyłączeniem prac wchodzących w skład osiągnięcia)**

<i>Monografie i artykuły naukowe</i>	<i>N</i>	<i>Punkty MNiSW/MEiN</i>	<i>IF</i>
Monografie	2	40	-
Rozdziały w monografiach	2	70	-
Publikacje w czasopiśmie naukowym posiadającym Impact Factor IF	18	1600	62,626
Publikacje w czasopiśmie naukowym nieposiadającym IF	9	510	-
Recenzowana publikacja naukowa w języku innym niż polski w zagranicznym czasopiśmie naukowym spoza list MNiSW o objętości co najmniej 0,5 arkusza	-	-	-
Publikacje popularnonaukowe	-	-	-
Patenty			
P.429133, Nowy szczep bakterii <i>Lactobacillus hilgardii</i> FLUB oraz zastosowanie szczepu do wytwarzania mannitolu (Załącznik 8 do Wykazu III.3.)	1	75	-
Razem		2295	62,626

Po uwzględnieniu 5 prac stanowiących szczególne osiągnięcie naukowe (wartość punktowa MNiSW/MEiN to 600 pkt, natomiast IF = 26,8) sumaryczna wartość mojego dorobku naukowego (w latach 2012-2026) stanowi **3095 pkt MNiSW/MEiN (po uwzględnieniu patentu 3170 pkt MNiSW/MEiN)**, a **sumaryczny IF wynosi 99,294** (Wykaz IV.1.).

Wskaźnikiem mojej aktywności naukowo-badawczej jest liczba cytowań, która po uzyskaniu stopnia doktora (wg kwerendy na dzień 14.04.2026 r.), według bazy **Web of Science Core Collection – Basic Search** wynosi **430 (396 bez autocytowań)**, natomiast **według bazy Scopus 529 (486 bez autocytowań)**. **Indeks Hirscha** według bazy **Web of Science** wynosi **12** natomiast według bazy **Scopus** wynosi **13**. Szczegółowe zestawienie wyników cytowań oraz wskaźnika Hirscha zaprezentowano w Wykazie IV.2. i IV.3., natomiast spis publikacji wraz z liczbą cytowań, potwierdzony przez Bibliotekę UP w Lublinie zamieszczono w Załączniku 7.

➤ **Zestawienie artykułów naukowych według czasopism**

<i>Lp.</i>	<i>Nazwa czasopisma</i>	<i>Liczba publikacji</i>		
		<i>Przed doktoratem</i>	<i>Po doktoracie</i>	<i>Razem</i>
1.	<i>Acta Biochimica Polonica</i>	1	-	1
2.	<i>Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria</i>	1	1	2
3.	<i>Acta Societatis Botanicorum Poloniae</i>	1	-	1
4.	<i>Acta Universitatis Cibiniensis, Series E: Food Technology</i>	-	2	2
5.	<i>Applied Sciences (Basel)</i>	-	7	7
6.	<i>Bromatologia i Chemia Toksykologiczna</i>	1	-	1
7.	<i>Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety</i>	-	1	1
8.	<i>Czech Journal of Food Sciences</i>	-	1	1
10.	<i>Foods</i>	-	4	4

11.	<i>Food and Bioprocess Technology</i>	-	1	1
12.	<i>Food Bioscience</i>	-	1	1
13.	<i>Food Chemistry</i>	1	1	2
14.	<i>International Journal of Food Science</i>	-	1	1
15.	<i>International Journal of Medical Mushrooms</i>	-	1	1
16.	<i>International Journal of Molecular Sciences</i>	-	1	1
17.	<i>Italian Journal of Food Science</i>	-	1	1
18.	<i>Journal of Agricultural Science and Technology</i>	-	1	1
19.	<i>Journal of Food Science</i>	-	1	1
20.	<i>Journal of Food Science and Technology</i>	-	1	1
21.	<i>Journal of Pure and Applied Microbiology</i>	-	1	1
22.	<i>LWT - Food Science and Technology</i>	-	1	1
23.	<i>Polish Journal of Microbiology</i>	-	1	1
24.	<i>Postępy Mikrobiologii</i>	1	-	1
25.	<i>Przemysł Spożywczy</i>	1	-	1
26.	<i>The Journal of Antibiotics</i>	1	-	1
27.	<i>Ukrainian Food Journal</i>	-	1	1
28.	<i>Żywność. Nauka. Technologia. Jakość</i>	6	1	7
29.	<i>Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych</i>	-	1	1
Razem		14	32	46

Pełny wykaz opublikowanych artykułów naukowych stanowiących dorobek publikacyjny (z wykluczeniem 5 publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego) przedstawiono w Wykazie I.4.

7.2. Udział w konferencjach

Udział w konferencjach naukowych krajowych i międzynarodowych przed uzyskaniem stopnia doktora			
<i>Kategoria</i>	<i>Konferencje krajowe</i>	<i>Konferencje międzynarodowe</i>	<i>Razem</i>
Postery	13	6	19
Wystąpienia ustne	5	-	5
Razem	18	6	24

Udział w konferencjach naukowych krajowych i międzynarodowych po uzyskaniu stopnia doktora			
<i>Kategoria</i>	<i>Konferencje krajowe</i>	<i>Konferencje międzynarodowe</i>	<i>Razem</i>
Postery	6	2	8
Wystąpienia ustne	2	2	4
Razem	8	4	12

Łącznie brałam udział w **10 konferencjach międzynarodowych**, obejmujących prezentację **8 posterów** oraz **2 wystąpienia ustne**, a także w **21 konferencjach krajowych**, podczas których zaprezentowano **19 posterów** i wygłoszono **7 referatów**.

Chronologiczne zestawienie wszystkich konferencji wraz z formą prezentacji wyników badań przedstawiono w Wykazie II.2., natomiast opublikowane materiały konferencyjne zestawiono w Wykazie I.4.1.3.1.

7.3. Udział w projektach badawczych

Przed uzyskaniem stopnia doktora

- 1) **Udział w programie stypendialnym „Stypendia naukowe dla doktorantów II” projektu realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki - podsumowanie 8.2.2 Regionalne Strategie innowacji (Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.1.)**

Funkcja: Kierownik projektu

Zadanie badawcze pt.: Praktyczne możliwości wykorzystania wyników pracy doktorskiej zgodnie z preferowanymi dziedzinami, określonymi w Regionalnej Strategii Innowacji Województwa Lubelskiego: „Zastosowanie szczepów bakterii *Lactobacillus helveticus* do produkcji serów dojrzewających typu szwajcarskiego.”

Okres trwania projektu: 15.11.2012 -11.12.2013

- 2) **Realizacja zadania badawczego w ramach wewnętrznego trybu konkursowego dla uczestnika studiów doktoranckich z dotacji MNiSW na prowadzenie badań naukowych służących rozwojowi młodych naukowców i uczestników studiów doktoranckich (Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.2.)**

Funkcja: Kierownik projektu

Zadanie badawcze pt.: „Zastosowanie szczepów bakterii *Lactobacillus helveticus* do produkcji serów dojrzewających typu szwajcarskiego.” (nr VKP/MN/4 oraz VKT/MN/12)

Okres trwania: rok 2013, 2014, 2015 oraz 2016

- 3) **Udział w projekcie finansowanym przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi pt.: „Przetwórstwo produktów roślinnych lub zwierzęcych metodami ekologicznymi: określenie dobrych praktyk dla przechowywania i przetwórstwa mleka oraz przetworów mlecznych z uwzględnieniem wydłużania trwałości przechowalniczej tych produktów”. Finansowanie przyznano zgodnie z rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 maja 2010 r. w sprawie stawek dotacji przedmiotowych dla różnych podmiotów wykonujących zadania na rzecz rolnictwa (Dz. U. Nr 91, poz. 595, z późn. zm.), na podstawie decyzji Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 09.06.2014 r., HORre-029-19-14/14(84) (Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.3.)**

Funkcja: Wykonawca

Zadanie badawcze: „Wpływ dodatku ziół i otrzymanych z nich ekstraktów na właściwości fizykochemiczne serów dojrzewających otrzymanych z mleka ekologicznego.”

Okres trwania projektu: IV –XII 2014

- 4) **Udział w projekcie finansowanym przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Departament Hodowli i Ochrony Roślin, pt.: „Przetwórstwo produktów roślinnych lub zwierzęcych metodami ekologicznymi: określenie dobrych praktyk dla przechowywania i przetwórstwa mleka oraz przetworów mlecznych z uwzględnieniem wydłużania trwałości przechowalniczej tych produktów”.** Finansowanie przyznane zgodnie z rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 maja 2010 r. w sprawie stawek dotacji przedmiotowych (Dz. U. Nr 91, poz. 595, z późn. zm.), na podstawie decyzji Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 21.09.2015 r., HORre-km-078-191/15(399) (Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.4.)

Funkcja: Wykonawca

Zadanie badawcze: „Wpływ dodatku suszu warzywnego jako alternatywnego sposobu barwienia na wybrane właściwości fizykochemiczne i organoleptyczne serów dojrzewających pozyskanych z mleka ekologicznego.”

Okres trwania projektu: VI –XI 2015

- 5) **Grant naukowy - Realizacja projektu badawczego VKP/PB/137 w ramach konkursu PRELUDIUM (Na podstawie art.33 ust. 1 z dnia 30 kwietnia 2010 r. o Narodowym Centrum Nauki (Dz. U. z 2010 r. Nr 96, poz. 617 z późn. zm. po rozpatrzeniu wniosku 2014/15/N/NZ9/04042 o finansowanie projektu badawczego (Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.5.).**

Funkcja: Kierownik projektu

Zadanie badawcze: „Zdolność szczepów *Lactobacillus helveticus* do produkcji peptydów biologicznie aktywnych - właściwości antyoksydacyjne wybranych preparatów białek serwatkowych fermentowanych przy udziale tych bakterii.”

Okres trwania projektu: : 10.08.2015-09.08.2017

Po uzyskaniu stopnia doktora

- 6) **Projekt badawczy ze środków na naukę przyznanych na działalność służące rozwojowi młodych naukowców nr VKR/MN-6/TŻ/20 finansowany przez MNiSW (Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.6.)**

Funkcja: Kierownik projektu

Zadanie badawcze pt.: „Izolacja ze spontanicznie fermentowanych nasion soczewicy jadalnej (*Lens culinaris* Medik) bakterii kwasu mlekowego (LAB) wykazujących zdolność do biosyntezy witaminy

B2 - identyfikacja nowych izolatów LAB przydatnych w opracowaniu składu innowacyjnych kultur starterowych o wysokim potencjale funkcjonalnym i aplikacyjnym w technologii fermentowanych produktów pochodzenia roślinnego.”

Okres trwania projektu: 01.04.2020-01.04.2023

7) Realizacja zadania badawczego w ramach programu: Regionalna Inicjatywa Doskonałości (029/RID/2018/19) finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.7.)

Funkcja: Wykonawca

Zadanie badawcze pt.: „Surowce i produkty roślinne oraz grzybowe jako źródło substancji bioaktywnych”, Temat podzadania badawczego: „Metody przetwarzania żywności pochodzenia roślinnego i grzybowego w celu jej wzbogacania w substancje aktywne biologicznie.”

Okres trwania projektu: 01.01.2019-31.12.2023

8) Grant na projekt badawczy w ramach IV edycji konkursu Interprojekt (Związek Uczelni Lubelskich); INT/001/2025/IV-N (Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.8.)

Funkcja: Wykonawca

Zadanie badawcze pt.: „Wpływ fermentacji probiotycznej na aktywność przeciwdrobnoustrojową ekstraktów roślinnych wobec (wielolekoopornych bakterii izolowanych od ludzi i zwierząt.”

Okres trwania projektu: 01.09.2025-01.09.2026

9) Realizacja zadania badawczego w ramach programu SUPRIM: „Sieć badawcza uczelni przyrodniczych na rzecz rozwoju polskiego sektora mleczarskiego – projekt badawczy” zadanie finansowane z dotacji celowej Ministerstwa Nauki i szkolnictwa Wyższego, nr umowy: MEiN/2023/DPI/2862 (Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.9.)

Funkcja: wykonawca projektu

Zadanie badawcze pt.: „Ocena możliwości wykorzystania ekstraktów z nasion łubinu wąskolistnego i polisacharydów grzybowych oraz badanie możliwości zastosowania suszonej wody po blanszowaniu grzybów jak również suszonej zalewy po kiszeniu grzybów w produkcji innowacyjnych mlecznych napojów prozdrowotnych.”

Okres trwania projektu: lata 2024-2027

10) Grant na realizację badań w zagranicznym ośrodku naukowym w ramach programu Bekker NAWA (Nr BPN/BEK/2025/1/00025/DEC/1) (Załącznik 8 do Wykazu II.4.poz.10.)

Funkcja: grantobiorca – stypendysta (główny wykonawca projektu)

Zadanie badawcze pt.: „Evaluation of selected yeast strains for functional metabolite production in sourdough bread.”

Okres trwania projektu 15.09.2026-15.06.2027

Szczegółowe informacje dotyczące charakterystyki wskazanych powyżej projektów przedstawiono w Wykazie II.4.

7.4. Współpraca z otoczeniem społecznym i gospodarczym

Współpraca z otoczeniem społecznym i gospodarczym jest ważnym elementem mojej działalności naukowej. Realizacja projektów badawczo-rozwojowych w ścisłej współpracy z przedsiębiorstwami sektora spożywczego umożliwia transfer wiedzy oraz praktyczne zastosowanie wyników badań naukowych, a także wzmacnianie lokalnego potencjału innowacyjnego. Do moich najważniejszych aktywności w tym obszarze należą:

1) W okresie od 15.11.2012 r. do 11.12.2013 r., w ramach udziału w programie stypendialnym „Stypendia naukowe dla doktorantów II”, realizowanym w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Priorytet VIII, Działanie 8.2.2 Regionalne Strategie Innowacji, pełniłam funkcję kierownika projektu badawczego realizując zadanie badawcze pt.: „Praktyczne możliwości wykorzystania wyników pracy doktorskiej zgodnie z preferowanymi dziedzinami, określonymi w Regionalnej Strategii Innowacji Województwa Lubelskiego „Zastosowanie szczepów bakterii *Lactobacillus helveticus* do produkcji serów dojrzewających typu szwajcarskiego”

Projekt był prowadzony we współpracy z **Okręgową Spółdzielnią Mleczarską w Piaskach** (ul. Zamojska 26, 21-050 Piaski), NIP 7130005525, KRS 0000072707, REGON 000438908.

2) W okresie od 13.06.2022 r. do 13.09.2022 r. wykonałam prace badawcze oraz eksperymenty laboratoryjne w ramach współpracy z firmą Madison Sp. z o.o. z siedzibą w Lublinie (KRS: 0000607195, NIP: 7123310115, REGON: 363976725), reprezentowaną przez Krzysztofa Sadło, w ramach pracy usługowej pt. „Opracowanie receptur i sporządzanie próbek innowacyjnych napojów funkcjonalnych”, w dyscyplinie Technologia żywności i żywienia (nr: VKR/u-465/TŻ/2022).

Praca zakończyła się opracowaniem receptur oraz sporządzeniem próbek innowacyjnych napojów funkcjonalnych, które zostały przekazane firmie wraz z raportami końcowymi, przeznaczonymi do wdrożenia w zakładzie produkcyjnym

3) W roku 2025 wykonałam prace badawcze i eksperymenty laboratoryjne w ramach współpracy z firmą **Kabako Gruppe sp. z o.o., z siedzibą w Opolu Lubelskim**, nr KRS 0000885358, NIP 7171837518, REGON 388296681, reprezentowaną przez Kazimierza Kołodziejczyka, wraz

z zawarciem umów (UBD.WVR.25.170 oraz UBAD.WVR.25.201 TŻ) w ramach porozumienia o współpracy dotyczącego realizacji dwóch odrębnych badań pt.:

- Opracowanie technologii otrzymywania napoju na bazie nasion Inu
- Opracowanie technologii otrzymywania owocowych fermentowanych napojów Inianych wzbogacanych białkami roślinnymi

Badania zostały przeprowadzone w ramach dyscypliny Technologia żywności i żywienia i zakończyły się opracowaniem raportów końcowych, które zostały przekazane firmie wraz z gotowymi rozwiązaniami technologicznymi przeznaczonymi do wdrożenia w zakładzie produkcyjnym. Współpraca z firmą jest nadal kontynuowana.

7.5. Współpraca z jednostkami naukowymi krajowymi i zagranicznymi, działalność międzynarodowa

Istotnym obszarem mojej działalności naukowej jest systematyczne rozwijanie współpracy z krajowymi i zagranicznymi jednostkami naukowymi oraz aktywne uczestnictwo w międzynarodowym środowisku badawczym.

➤ *Współpraca z jednostkami zagranicznymi*

Nawiązanie kontaktów naukowych z **prof. Girishem M. Ganjyal`em (Professor & Extension Food Processing Specialist)** podczas stażu naukowego w **Washington State University w Pullman (USA)** umożliwiło zainicjowanie trwałej współpracy pomiędzy Uniwersytetem Przyrodniczym w Lublinie a School of Food Science, Washington State University.

Wymiernym rezultatem tej współpracy było przygotowanie i złożenie wniosku o finansowanie przyjazdu zagranicznego naukowca w ramach Strategii Rozwoju Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, realizowanej na potrzeby przygotowań do udziału w konkursie „Inicjatywa doskonałości – uczelnia badawcza” (numer naboru: PRZYJAZDY/1/2025). Przyznane dofinansowanie (wniosek nr **IDUB.NM.PN.2025.2**) potwierdziło skuteczność działań podejmowanych na rzecz umiędzynarodowienia badań naukowych prowadzonych na Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie.

Kolejnym etapem współpracy była wizyta prof. Girisha M. Ganjyal`a, która odbyła się w dniach 21–25 września 2025 r., koncentrowała się na prezentacji aktualnych osiągnięć badawczych oraz innowacyjnych rozwiązań w obszarze produktów spożywczych i dodatków do żywności wspierających rozwój zrównoważonych systemów żywnościowych. Program wizyty obejmował udział w Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Żywność w zrównoważonym świecie”, połączonej z Jubileuszem 20-lecia Wydziału Nauk o Żywności i Biotechnologii, a także realizację seminarium pt.

„*Innovations and Trends in Food Ingredients and Food Products for a Sustainable Food Systems*”. Wydarzenia te miały istotne znaczenie zarówno dla środowiska akademickiego, jak i przedstawicieli sektora spożywczego. Równolegle wizyta ta służyła budowaniu długofalowych relacji naukowych, tworzeniu podstaw do wspólnych badań oraz rozwijaniu współpracy naukowo-dydaktycznej, w tym transferowi wiedzy i doświadczeń pomiędzy partnerskimi uczelniami. Działania te przyczyniają się do wzmacniania pozycji Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie w międzynarodowej przestrzeni badawczej oraz do rozwoju trwałej współpracy o charakterze międzynarodowym.

Podczas stażu w **Washington State University (WSU)** uczestniczyłam w pracach zespołu badawczego realizującego projekt w ramach programu *Undergraduate Research and Extension Experimental Learning Fellowships Program*, finansowanego z grantów *USDA NIFA Grant nr 2017-07669*, *USDA AFRI Grant nr 2018-67032-27702* oraz *USDA Hatch Project Accession nr 1016366*. Wyniki przeprowadzonych badań zaowocowały publikacją artykułu naukowego:

➤ Downs, B., Skrzypczak, K., Richter, J. K., Krajka, T., Ikuse, M., Bernin, J. B., & Ganjyal, G. M. (2023) Influence of legume-derived proteins with varying solubility on the direct expansion of corn starch during twin-screw extrusion processing, *Journal of Food Science*, <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16730> (Wykaz I.4.1.1. poz. D23.)

Ponadto w tym samym ośrodku naukowym uczestniczyłam w pracach zespołu badawczego realizującego projekty *USDA NIFA Sustainable Agricultural Systems (SAS Program) (Award nr 2021-68012-35955)* oraz *USDA National Institute of Food and Agriculture – Hatch Project, Accession nr 1016366 (United States Department of Agriculture)*. Prace prowadzone w ramach tych projektów zaowocowały publikacją artykułu naukowego:

➤ Skrzypczak, K., Nalbandian, E., Bernin, J., Rezaey, M., Smith, B., Richter, J., & Ganjyal, G. M. (2025) Effect of probiotic fermentation on the techno-functional properties and select antinutritional components in lentil flour, *Food and Bioprocess Technology*, 18, 11000–11014, <https://doi.org/10.1007/s11947-025-04076-1>

Powyższa publikacja stanowi jedną z prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego (**P3**), będącego podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego (Wykaz I.2.B.poz.3.; Załącznik 5)

W ramach współpracy z **dr. Evan`em Craine`em** (Specjalista ds. badań naukowych II stopnia – zarządzanie uprawami) z **The Land Institute** (2440 E Water Well Rd, Salina, Kansas 67401, USA) przeprowadzono badania przesłanego materiału roślinnego – mąki pozyskanej z rośliny strączkowej *Onobrychis viciifolia* Scop. (esparceta siewna), znanej w USA pod nazwą handlową fasola Baki™. Badania prowadzono pod kątem możliwości zastosowania tego surowca w żywności oraz oceny jego właściwości sensorycznych i żywieniowych.

Współpraca koncentruje się na analizie oraz prezentowaniu potencjału tego surowca roślinnego jako innowacyjnego składnika żywności, ocenianego z perspektywy wartości produkcyjnej, wkładu żywieniowego oraz znaczenia kulturowego.

Dotychczas przeprowadzone badania umożliwiły opracowanie technologii produkcji innowacyjnych produktów spożywczych, tj. bezglutenowych ciasteczek kruchych z dodatkiem mąki z esparcety siewnej.

Uzyskane wyniki badań wstępnych potwierdziły potencjał esparcety siewnej jako nowego, prozdrowotnego składnika wspierającego rozwój zrównoważonych innowacji w zakresie bezglutenowych wyrobów piekarskich oraz dywersyfikację diety. Efektem dotychczasowej współpracy było doniesienie naukowe pt. *Applying Onobrychis viciifolia Scop. in production of novel gluten-free cookies with health-promoting potential*, zaprezentowane podczas Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Żywność w zrównoważonym świecie”, połączonej z Jubileuszem 20-lecia Wydziału Nauk o Żywności i Biotechnologii (23–24.09.2025, Lublin).

Uzupełnieniem działań w zakresie umiędzynarodowienia badań była współpraca z europejskim ośrodkiem akademickim nawiązana w ramach mobilności dydaktycznej ERASMUS+ (STA) w dniach 11–15 października 2021 r. w **Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali (DiSAAA-a), Università di Pisa (Włochy)**. Pobyt ten umożliwił rozpoczęcie współpracy badawczej z prof. **Monicą Agnolucci, PhD (Agricultural, Food and Environmental Microbiology, Department of Agriculture, Food and Environment, University of Pisa)**. Nawiązana współpraca doprowadziła do realizacji wspólnych badań naukowych zakończonych publikacją współautorską oraz do opracowania planu dalszych działań badawczych. Jej kontynuacją było wspólne przygotowanie i złożenie wniosku o grant badawczy w ramach programu **NAWA Bekker 2025 (nr projektu: BPN/BEK/2025/1/00025)** i uzyskanie pozytywnej decyzji Dyrektora Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej (**Nr BPN/BEK/2025/1/00025/DEC/1**). Złożenie wniosku i uzyskanie grantu potwierdza trwałość współpracy oraz gotowość do realizacji wspólnych projektów badawczych o wysokim potencjale naukowym i aplikacyjnym.

➤ *Współpraca z jednostkami naukowymi krajowymi*

- Współpraca z prof. dr hab. Emilią Fornal z Zakładu Bioanalitiky Uniwersytetu Medycznego w Lublinie (wcześniej - Pracownia Zastosowań Metod Separacji i Spektroskopii, Interdyscyplinarne Centrum Badań Naukowych, Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II) w zakresie badań dotyczących izolacji i sekwencjonowania peptydów bioaktywnych w mlecznych produktach fermentowanych.

Efektym współpracy jest publikacja: Skrzypczak, K., Fornal, E., Domagała, D., Gustaw, W., Jabłońska-Ryś, E., Sławińska, A., Radzki, W., Kononiuk, A., & Waśko, A. (2021). Use of α -lactalbumin

and caseinoglycomacropeptide as biopeptide precursors and as functional additives in milk beverages fermented by *L. helveticus*, International Journal of Food Science, 2021, Article 8822161, <https://doi.org/10.1155/2021/8822161> (Wykaz I.4.1.2.poz.D14.)

- Współpraca z prof. dr hab. inż. Anetą Wojdyło, prof. dr hab. Anną Michalską-Ciechanowską, dr. inż. Igozem Turkiewiczem oraz dr Jessicą Brzezowską z Katedry Technologii Owoców, Warzyw i Nutraceutyków Roślinnych, Wydziału Biotechnologii i Nauki o Żywności, Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (ul. Chełmońskiego 37, 51-630 Wrocław), w zakresie procesu proszkowania fermentowanych napojów roślinnych oraz analizy profilu cukrów.

Efektom współpracy jest publikacja: Brzezowska, J., **Skrzypczak**, K., Radzki, W., Turkiewicz, I., Ziaja-Sołtys, M., Bogucka-Kocka, A., Wojdyło, A., & Michalska-Ciechanowska, A. (2023). Comparative study of antioxidant, antiglycation and chemoprotective potential of beetroot juice powder formulations with functional carriers. Food Bioscience, Vol. 55, Article number 103049, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4407784> (Wykaz I.4.1.1.poz.D24.)

- Współpraca z dr. inż. Krzysztofem Przygońskim z Instytutu Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego – Państwowego Instytutu Badawczego, Zakład Koncentratów Spożywczych i Produktów Skrobiowych (ul. Starołęcka 40, 61-361 Poznań), w zakresie oznaczania poziomu ryboflawiny w produktach spożywczych zawierających fermentowane nasiona ciecierzycy.

oraz

- Współpraca z dr. hab. Konradem Terpiłowskim, prof. uczelni, z Katedry Zjawisk Międzyfazowych Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie (pl. Marii Curie-Skłodowskiej 3, 20-031 Lublin), w zakresie obserwacji mikroskopowych powierzchni pieczywa zawierającego fermentowane nasiona *Cicer arietinum*.

Efektom powyższych współprac jest publikacja: **Skrzypczak**, K., Wirkijowska, A., Przygoński, K., Terpiłowski, K., & Blicharz-Kania, A. (2024). Quality and functional properties of bread containing the addition of probiotically fermented *Cicer arietinum*. Food Chemistry, 448, Article 139117, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139117>

Powyższa publikacja stanowi jedną z prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego (P5), będącego podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego (Wykaz I.2.B.poz.5.; Załącznik 5).

- Współpraca z dr Joanną Kasprzyk-Pochopień z Laboratorium Spektrometrii Mas Wysokiej Rozdzielczości Wydziału Chemii, Uniwersytetu Jagiellońskiego (ul. Gronostajowa 2, 30-387 Kraków)

w zakresie analiz nanoLC-TIMS-MS/MS w fermentowanych produktach pochodzących z surowców roślin strączkowych

Efektom współpracy jest publikacja: Skrzypczak, K., Agnolucci M., Grassi, A., Cristani, C., Michalak, K., Przygoński K., Kasprzyk-Pochopień, J. (2026). Exploring microbiological and biochemical changes in red lentil (*Lens culinaris* Medik.) during spontaneous fermentation, LWT, 240, Article 118847, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118847>

Powyższa publikacja stanowi jedną z prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego (P2), będącego podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego (Wykaz I.2.B.poz.2.; Załącznik 5)

▪ Współpraca z dr Martą Ziają-Sołtys z Zakładu Biologii i Genetyki Uniwersytetu Medycznego w Lublinie w zakresie badań obejmujących analizę polisacharydów w owocnikach grzybów jadalnych oraz ocenę aktywności antyproliferacyjnej sproszkowanych soków z buraka na komórkach ludzkich linii białaczkowych.

Efektom współpracy są publikacje: Ziaja-Sołtys, M., Radzki, W., Nowak, J., Topolska, J., Jabłońska-Ryś, E., Sławińska, A., **Skrzypczak, K.**, Kuczumow, A., & Bogucka-Kocka, A. (2020). Processed fruiting bodies of *Lentinus edodes* as a source of biologically active polysaccharides, Applied Sciences, 10, Article 470, <https://doi.org/10.3390/app10020470> (Wykaz I.4.1.1.poz.D14.)

oraz

Brzezowska, J., **Skrzypczak, K.**, Radzki, W., Turkiewicz, I., Ziaja-Sołtys, M., Bogucka-Kocka, A., Wojdyło, A., & Michalska-Ciechanowska, A. (2023). Comparative study of antioxidant, antiglycation and chemoprotective potential of beetroot juice powder formulations with functional carriers, Food Bioscience, 55, Article 103049, <https://doi.org/10.2139/ssrn.4407784> (Wykaz I.4.1.1.poz.D24.)

Wszystkie publikacje powstałe w wyniku prowadzenia badań w więcej niż jednej jednostce naukowej zestawiono w Załączniku 8 do Wykazu II.10. w kolejności chronologicznej według roku ich opublikowania.

7.6. Członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism, wykonane recenzje prac w czasopismach krajowych i międzynarodowych

Członkostwo w komitetach redakcyjnych

- 2023- Redaktor gościnny (Guest Editor) w czasopiśmie *Foods*, Special Issue: *Current Research of Lactic Acid Bacteria in Fermented Foods* (sekcja: Food Microbiology). (https://www.mdpi.com/journal/foods/special_issues/Lactic_Acid_Bacteria_Fermented_Foods)

- 2025 - Redaktor gościnny (Guest Editor) w czasopiśmie *Foods*, Special Issue: *Edible Mushroom: Nutritional Properties and Its Utilization in Foods* (sekcja: Plant Foods). (https://www.mdpi.com/journal/foods/special_issues/1V4R5KFI01)

Recenzje prac krajowych

- recenzja dla: Wydawnictwo Naukowe TYGIEL Sp. z o.o. ISBN 978-83-65598-85-1. (2017).
- recenzja dla: Wydawnictwo Naukowe TYGIEL Sp. z o.o. ISBN 978-83-65932-20-4. (2018).
- recenzja dla: Towarzystwo Wydawnictw Naukowych Libropolis Sp. z o.o. ISBN 978-83-63761-75-2. (2018).
- recenzja dla: Towarzystwo Wydawnictw Naukowych Libropolis Sp. z o.o. ISBN 978-83-63761-75-2. (2018).

Recenzje prac w czasopismach międzynarodowych

- recenzja dla: Scientific Reports, Springer Nature, 04.04.2025
- recenzja dla Cereal Chemistry, Wiley, 28.11.2025
- recenzja dla European Food Research and Technology, Springer Nature, 01.02.2026

Szczegółowa lista zrecenzowanych prac została przedstawiona w Wykazie II.8.

Potwierdzenia wykonania recenzji poszczególnych prac w czasopismach krajowych i międzynarodowych zamieszczono w Załączniku 8 do Wykazu II.8., natomiast potwierdzenia członkostwa w komitetach redakcyjnych zamieszczono w Załączniku 8 do Wykazu II.7.

7.7. Otrzymane nagrody i wyróżnienia

- Nagroda indywidualna III stopnia z okazji Inauguracji Roku Akademickiego 2017/2018 za osiągnięcia naukowe w roku 2016
- I miejsce w konkursie na najlepiej zaprezentowany poster w języku angielskim podczas *XXIII Sesji Naukowej Sekcji Młodej Kadry Naukowej „Żywność – Tradycja i Nowoczesność” VI International Session of Young Scientific Staff "Food - tradition and modernity"* (Lublin, 24-25 maj 2018)
- Nagroda Polish Journal of Food and Nutrition Sciences za prezentację posteru: *„Fermented plant-based beverages as a source of biologically active substances” podczas XXIII Sesji Naukowej Sekcji Młodej Kadry Naukowej „Żywność – Tradycja i Nowoczesność” VI International Session of Young Scientific Staff "Food - tradition and modernity"* (Lublin, 24-25 maj 2018)
- Nagroda indywidualna Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie za działalność naukową (nagroda III-go stopnia z osiągnięcia naukowe w latach 2022-2024)

7.8. Odbyte szkolenia i kursy

- **01.09.2011-30.06.2012** Kwalifikacyjny kurs pedagogiczny dla czynnych zawodowo nauczycieli zorganizowany przez Regionalny ośrodek Doskonalenia Nauczycieli i Kadry Kierowniczej Szkół TWP w Lublinie
- **05, 06 i 19.10.2013** Kurs: Komercjalizacja wiedzy w ramach projektu systemowego: Stypendia naukowe dla doktorantów II, finansowanego z Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki- podsumowanie 8.2.2 Regionalne Strategie innowacji
- **08.02.2014-23.02.2014** Kurs zorganizowany przez Akademię Dietetyki.: „Kurs dietetyki zaawansowany”
- **01.03.2014** Kwalifikacje zawodowe do zawodu dietetyk (kod 322001)
- **06.06.2014** Warsztaty szkoleniowe z zakresu finansowania nauki i ochrony własności intelektualnej organizowanych przez Krajową Radę Doktorantów oraz Radę Uczelnianą Samorządu Doktorantów Politechniki Lubelskiej i Radę Doktorantów Uniwersytetu Przyrodniczego w Lubinie pod patronatem MNiSW, NCN, NCBR, FNP i Lubelskiego Porozumienia Doktorantów
- **07.02.2015** Szkolenie: „Testy genetyczne w praktyce dietetyka” zorganizowane przez firmę VitaGenum
- **03-04.12.2015** Szkolenie przeprowadzone przez MBS- Szkolenia, Konferencje, Usługi Sp. z o.o.: „Projektowanie starterów i sond do PCR i qPCR. Ocena sekwencji DNA”
- **08.10.2015-01.10.2016** Kwalifikacyjny Kurs Zawodowy T.6 Sporządzanie potraw i napojów posiadanie kwalifikacji zawodowych w obrębie zawodu kucharz, kod zawodu: 512001
- **04-07.04.2016** „Techniki biologii molekularnej”- kurs doskonalący zorganizowany przez Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego w Warszawie, Studium Kliniczno-Dydaktyczne, Zakład Cytologii Klinicznej
- **21.04.2016** Seminarium szkoleniowe: „Ekstrakcja i oczyszczanie białka”
- **27-28.09.2016** Szkolenie: Obsługa klienta w gastronomii - Szkoła artystyczna Wiesław Kucia
- **31.03.2017** Kwalifikacje zawodowe w zakresie T6. Sporządzanie potraw i napojów wyodrębnionej w zawodach: 343404 Technik żywienia i usług gastronomicznych, 51200 Kucharz)
- **01-30.05.2017** Kurs kucharski I i II stopnia z elementami dietetyki (140h), Niepubliczna Placówka Kształcenia Ustawicznego DE w Lublinie
- **26-27.06.2017** Szkolenie: Desery na talerzu- Szkoła artystyczna Wiesław Kucia
- **01.02.2018-30.07.2018** Kurs Języka Angielskiego zorganizowany przez Centrum Językowe PROGRESS w Lublinie
- **28.06.2018** Warsztaty Kulinarne Kuchni Włoskiej prowadzone przez szefa kuchni Patrizio Bolognesi w zakresie sporządzania potraw z ryb i owoców morza
- **19.11.2018** Szkolenie obsługi Mendelejczyka zorganizowane przez Elsevier , B.V.

- **08-10.01.2019** Szkolenie "Wykorzystanie multimediów w efektywnym prowadzeniu zajęć dydaktycznych" zorganizowane przez Centrum Szkoleń i Innowacji Sp. z o.o.
- **19.03.2019** Kurs: Optimize your RNA workflow-hints and pitfalls of RT-qPCR zorganizowane przez Promega
- **01-30.05.2020** Kurs online: New Meat: The science behind scalable alternatives to animal proteins zorganizowany przez The Good Food Institute's (1380 Monroe St. NW #229 Washington DC 2010)
- **01-30.04.2020** Indywidualny kurs języka angielskiego poziom B2/B2+) - Szkoła językowa ProfiLingua w Lublinie
- **23.10.2020–13.11.2020** Kurs online: EIT Food Venturing School II - zorganizowany przez Uniwersytet Cambridge, islandzki Instytut MATIS, fińską sieć badawczą VTT oraz Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności PAN
- **05.03.2021** Szkolenie: "How to prepare and publish papers in high impact journals" zorganizowane przez Aarhus University, Denmark oraz Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
- **12.10.2021-08.03.2022** Kurs języka angielskiego dla kadry akademickiej i administracyjnej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie
- **30.04.2021** Szkolenie: „Ekstrakcja i oczyszczanie białka z materiału biologicznego” zorganizowane przez firmę Merck
- **14.12.2022-26.01.2023** Szkolenia zorganizowane w Pullman (USA) przez Washington State University (WSU):
 - ✓ Course: Fume Hood Safety, VIVID Learning Systems, Washington State University
 - ✓ PPE – Eye and Face Protection, VIVID Learning Systems, Washington State University
 - ✓ CITI Program: Biomedical Responsible Conduct of Research, Washington State University
 - ✓ CITI Program: Responsible Conduct of Research for Administrators, Washington State University
 - ✓ CITI Program: Physical Science Responsible Conduct of Research, Washington State University
 - ✓ Food Safety for Food Handlers, VIVID Learning Systems, Washington State University
 - ✓ Liquid Nitrogen Safety, VIVID Learning Systems, Washington State University
 - ✓ Laboratory Compressed Gas Safety, VIVID Learning Systems, Washington State University
 - ✓ University Laboratory Safety – Analyzing Chemical Hazard, VIVID Learning Systems, Washington State University
- **07.01.2024-31.05.2024** Szkolenia zorganizowane w Vancouver (Kanada) przez The University of British Columbia (UBC):
 - ✓ Bioimaging Facility Staining Safely with Radioactive and Heavy Metal Compounds Training course
 - ✓ Biosafety for Study Team Members
 - ✓ General Audience Workplace Hazardous Materials Information System (WHMIS)
 - ✓ Chemical Safety
 - ✓ Bioimaging Facility TEM Training course

- ✓ Workplace Violence Prevention Training
- ✓ Privacy and Information Security Fundamentals Training (Part and Part 2)
- ✓ Preventing and Addressing Workplace Bullying and Harassment
- **25.06.2024** Kurs: Oznaczanie zawartości tłuszczu w produktach wegańskich, zorganizowany przez MS Spektrum
- **03.04.2025** Szkolenie: Zastosowanie sztucznej inteligencji w działalności dydaktycznej i naukowej – aspekty prawne
- **28.04.2025** Instytut Sztuki Kulinarnej, Kurs kulinarny „Kuchnia wegańska: ograniczam mięso”
- **04.07.2025** Warsztaty psychologiczno-pedagogiczne: „Metody pracy ze studentem z zaburzeniami emocjonalnymi, oraz diagnozą choroby psychicznej. Sposoby dbania o własny dobrostan”

7.9. Udział w szkoleniowych i dydaktycznych programach międzynarodowych

- **17-28.09.2012** Isparta, Turcja - EU Erasmus Intensive Programme Projects: Regulatory Aspects and Scientific Risk Assessment of Food and Feed Safety` - RASAFF - Safety Project at Suleyman Demirel University, Isparta Turcja
- **23.08-17.10.2017** Pekin, Chiny - Training Course on Biotechnology Application in Food Industry for Developing Countries organized by China National Research Institute of Food and Fermentation Industries
- **16-20.05.2018** Kordoba, Hiszpania - Staff Mobility For Teaching Assignments (Sta) Program Erasmus+ 2017/2018 (University of Cordoba, E CORDOBA01)
- **08-16.03.2019** Campobasso, Włochy - Staff Mobility For Teaching Assignments (STA) Program Erasmus+ 2018/2019 University of Molise (Universita Degli Studi del Molise, I CAMPOBA01)
- **20-26.10.2019** University of Groningen, Gronongen, Holandia szkolenie dla polskich nauczycieli akademickich w ramach projektu Programu Operacyjnego Wiedza Edukacji Rozwój pn. Mistrzowie dydaktyki (*Masters of Didactics*)
- **18-22.11.2019** Karditsa, Grecja - Staff Mobility For Teaching Assignments (STA) Program Erasmus+ 2019/2020, University of Thessaly (former TEI of Thessaly) G VOLOS01
- **01-05.03.2021** Wilno, Litwa - Staff Mobility For Teaching Assignments (STA) Program Erasmus+ 2020/2021, Vilnius kolegija/University of Applied Sciences STAFF (INTERNATIONAL TEACHING) WEEK - Faculty of Agrotechnologies) LT VILNIUS10
- **11-15.10.2021** Piza, Włochy - Staff Mobility For Teaching Assignments (STA) Program Erasmus+ 2020/2021, Dipartimento di Scienze Agrarie Alimentari e Agro-ambientali (DiSAAA-a) Università di Pisa I PISA01
- **06-12.03.2022** Lille, Francja - Staff Mobility For Teaching Assignments (STA) Program Erasmus+ 2021/2022, JUNIA ISA, Graduate School of Agriculture and Life Sciences, TRD Food Sciences (Responsable du DA SPD Nutrition Santé Ingénieure d'études en Analyse Sensorielle), F LILLE 51

- **04-08.04.2022** Walencja, Hiszpania Staff Mobility For Training (STT) Erasmus+ 2021/2022, Universitat Politècnica deValència (UPV), ETS Ingeniería Agronómica y del Medio Natural (ETSIAMN), EVALENCI02.
- **17.03.2025-21.03.2025** Beja, Portugal - Staff Mobility For Teaching Assignments (STA) Program Erasmus+ 2024/2025, Instituto Politécnico de Beja / Polytechnic Institute of Beja, Department of Food Technology, P BEJA01

7.10. Odbyte staże krajowe i zagraniczne

- **01.09.2014-30.09.2014** Staż w Spółdzielczej Mleczarni Spomlek
- **01-30.07.2021** Staż w Instytucie Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie
- **16.09.2022-15.09.2023** Staż w School of Food Science w Washington State University in Pullman, USA
- **07.01.2024-31.05.2024** Staż w The University of British Columbia (UBC)- Faculty of Land and Food Systems Kanada, Vancouver

Opisy charakteru odbytych staży zamieszczono w Wykazie II.6, natomiast potwierdzenia ich odbycia przedstawiono w Załączniku 8 do Wykazu II.6. poz. 1–4.

.....
(podpis wnioskodawcy)