

STRUCTURAL AND MECHANICAL AND CONFORMATIONAL CHANGES IN THE PROCESS OF MAKING WHEAT BREAD WITH RICE PROTEIN CONCENTRATE

A. Shevchenko, S. Litvynchuk, O. Galenko

National University of Food Technologies

Key words:

Bread

Rice protein concentrate

Wheat flour

Dough

Conformational changes

Article history:

Received 10.07.2023

Received in revised form
28.07.2023

Accepted 14.08.2023

Corresponding author:

A. Shevchenko

E-mail:

nastyusha8@ukr.net

Citation: A. O. Шевченко, С. І. Літвинчук, О. О. Галенко (2023). Структурно-механічні та конформаційні зміни в процесі виготовлення пшеничного хліба з концентратом рисового протеїну. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 176—184.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-16

ABSTRACT

The main disadvantage of bread made from wheat flour is its insufficient nutritional value, in particular due to low protein content. It is advisable to increase the content of this nutrient by changing the recipe composition, namely by adding raw materials rich in complete proteins. Since it is recognized that animal proteins can be allergens, concentrates, isolates and hydrolysates of proteins of plant origin, in particular those obtained from rice, can be an alternative. The chemical composition of rice significantly differs from the chemical composition of wheat, and therefore the products of its processing will have an effect on the structure of dough and bread with such an additive.

Protein concentrates are obtained from defatted rice bran by the enzymatic or alkaline method. Rice protein can regulate glutathione metabolism and mitigate oxidative damage to lipids and proteins, resulting in an antioxidant response that prevents hyperlipidemia. Rice processing products are often used in the technology of gluten-free products, less often in the technology of wheat bread.

It was established that the use of rice protein concentrate reduced the specific volume of the dough by 2.9—13.5% compared to the control sample. The gluten framework weakened, which prevents the retention of gas bubbles formed during fermentation.

It was established that the diameter of the ball during fermentation decreased by 3.8—9.6% depending on the dosage of rice protein concentrate. This will contribute to improving the bread's ability to keep its shape.

The infrared spectra of the dough and bread showed difference in the values of the relative reflectance coefficient in the spectra of the dough of the control sample and with the addition of 8% rice protein concentrate both after kneading and after fermentation. Rice protein concentrate delayed the development of the gluten network. At the same time, a positive effect on the ability of the dough to keep its shape was observed.

СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ТА КОНФОРМАЦІЙНІ ЗМІНИ В ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА З КОНЦЕНТРАТОМ РИСОВОГО ПРОТЕЇНУ

А. О. Шевченко, С. І. Літвинчук, О. О. Галенко

Національний університет харчових технологій

Основним недоліком хліба з пшеничного борошна вважається його недостатньо висока харчова цінність, зокрема через низьку повноцінність білка. Доцільно підвищувати вміст цього нутрієнту, змінюючи рецептурний склад шляхом саме додавання сировини, багатой на повноцінні білки. Оскільки визнано, що тваринні білки можуть бути алергенами, то альтернативою можуть бути концентрати, ізоляти та гідролізати протеїнів рослинного походження, отримані з рису. Хімічний склад рису значно відрізняється від хімічного складу пшениці, а отже, продукти його переробки матимуть вплив на структуру тіста та хліба з такою добавкою.

Протеїнові концентрати отримують зі знежирених рисових висівок ферментативним або лужними методом. Рисовий протеїн може регулювати метаболізм глутатіону і пом'якшувати окисне пошкодження ліпідів і білків, що призводить до антиоксидантної відповіді, яка запобігає виникненню гіперліпідемії. Продукти переробки рису часто застосовують у технологіях безглютенових виробів, рідше — в технологіях пшеничного хліба.

Встановлено, що використання концентрату рисового протеїну зменшило питомий об'єм тіста на 2,9—13,5% порівняно з контрольним зразком. Клейковинний каркас послаблюється, що перешкоджає утримувannya бульбашок газу, які утворилися під час бродіння. При цьому діаметр кульки під час бродіння зменшувався на 3,8—9,6% залежно від дозування концентрату рисового протеїну. Це сприятиме покращенню формоутримувальної здатності хліба.

Інфрачервоні спектри тіста та хліба показали різницю у значеннях коефіцієнта відносного відбиття в спектрах тіста контрольного зразка та з додаванням 8% концентрату рисового протеїну як після замішування, так і після бродіння. Концентрат білка рису спричиняв затримку розвитку глютенної мережі. При цьому спостерігався позитивний вплив на здатність тіста зберігати форму.

Ключові слова: хліб, концентрат рисового протеїну, пшеничне борошно, тісто, конформаційні зміни.

Постановка проблеми. Основним недоліком хліба з пшеничного борошна вважається його недостатньо висока харчова цінність, зокрема через низьку повноцінність білка (Xue, Matros, Mock, & Mühling, 2019). Зважаючи на популярність такого виду хлібобулочних виробів серед споживачів, доцільно підвищувати вміст цього нутрієнту, змінюючи рецептурний склад шляхом додання сировини, багатой на повноцінні білки. Визнано, що тваринні білки можуть бути алергенами, тому альтернативою можуть бути концентрати, ізоляти та гідролізати протеїнів рослинного походження, отримані з рису.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Протеїнові концентрати отримують зі знежирених рисових висівок ферментативним або лужними методом (Reche та ін., 2010). Дослідження його властивостей показало, що вологозв'язувальна здатність була в діапазоні 3,87—5,60 (г/г), тоді як жиропоглинальна здатність коливалася від 3,74 до 9,18 (г/г). Білкові концентрати показали хорошу стійкість піни з періодом напіврозпаду 42,6 години. Емульгуюча здатність білкових концентратів коливалася від 24% до 74%. Емульсії були досить стабільними за різних концентрацій рН, солі та цукру (Chandi, & Sogi, 2007).

Визначали вплив двох різних методів екстракції на антиоксидантну здатність протеїну, екстрагованого лугом (0,2% NaOH) і α -амілазою, під час травлення *in vitro* протягом 2 год пепсином і протягом 3 год панкреатином. Після перетравлення пепсином-панкреатином отримували білкові гідролізати, які були супернатантами за відсутності неперетравленого залишку (БПЗ), і білок, в якому залишився неперетравлений залишок (ЗПЗ). ЗПЗ продемонстрував сильнішу антиоксидантну реакцію щодо поглинання вільних радикалів, хелатну активність металів і відновну здатність (Wang, Liu, Li, & Yang, 2016)

Було виявлено, що рисовий протеїн може регулювати метаболізм глутатіону і пом'якшувати окисне пошкодження ліпідів і білків, що призводить до антиоксидантної відповіді, яка запобігає виникненню гіперліпідемії (Cai та ін., 2016).

Продукти переробки рису часто застосовують у технологіях безглютенових виробів. Було досліджено можливість заміни яєчного альбуміну, який є алергеном, білковими концентратами рисових висівок, що не викликають алергії, щоб покращити якість хліба. Однак варто враховувати, що вони гірше засвоюються і мають меншу здатність транспортувати важливі такі поживні речовини, як кальцій і залізо (Day, Cakebread, & Loveday, 2022). Рисові висівки використовували як вихідний матеріал для приготування білкового концентрату рисових висівок за методикою лужно-кислотної екстракції. Отриманий протеїн складався з $68,07 \pm 0,54\%$ білка. Додавання протеїну вплинуло на реологічні властивості, особливо на модуль пружності тіста залежно від коливань, і на відносну еластичність хліба. Внесення 2% протеїну сприяло запобіганню черствінню хліба, порівняно з яєчним альбуміном (Phongthai, D'Amico, Schoenlechner, & Rawdkuen, 2016).

Вивчено ефект від заміни пшеничного борошна 5%, 10% і 15% білковими концентратами натуральних і ферментованих дріжджами рисових висівок на властивості тіста та хліба. Органолептичні показники та питомий об'єм пшеничного хліба (контроль) істотно не відрізнялися від композитного хліба з кількістю до 10% протеїну рисових висівок, тому на цьому рівні було встановлено раціональний рівень заміни. Композитний хліб містив вищий загальний вміст амінокислот, активність поглинання радикалів і здатність відновлювати залізо (43,04—48,87 г/100 г, 182,77—201,65 ммоль TEAC/100 г і 613,29—637,81 ммоль TE/100 г), ніж контроль (33,86 г/100 г, 109,43 ммоль TEAC/100 г і 540,13 ммоль TE/100 г). Методом скануючої електронної мікроскопії виявлено, що композитний хліб мав поверхню з вбудованими білковими гранулами (Chinma, Plowefah, Balakrishnan, Mohammed, & Muhammad, 2015).

Висока антиоксидантна активність, поглинання води та жиру, світліший колір і вища температура денатурації білка свідчать про їхній потенціал як функціональних інгредієнтів у випічці, зокрема пшеничного хліба. Досліджували хімічні, антиоксидантні, функціональні і термічні властивості дріжджово-ферментованого білкового концентрату рисових висівок, природно ферментованого білкового концентрату рисових висівок і неферментованого рисового білкового концентрату. Вміст білка становив 72,50%, 68,92% і 65,73% відповідно, тоді як вміст золи становив 4,72%, 4,61% і 3,04% відповідно. Дріжджово-ферментований білковий концентрат рисових висівок мав найвищу температуру денатурації та значення ентальпії, структури β -листів були також більше в цій сировині (Chinma, Ilowefah, Balakrishnan Ramakrishnan, & Muhammad, 2014).

Мета дослідження: визначити вплив концентрату рисового протеїну в поєднанні з соняшниковим лецитином на структурно-механічні та конформаційні зміни в структурі тіста та хліба, а також засвоюваність виробів.

Матеріали і методи. *Підготовка зразків.* Для досліджень використовували борошно пшеничне вищого сорту, лецитин соняшниковий з вмістом фосфатидилхоліну 95,3%, концентрат рисового протеїну.

Зразки тіста готували безопарним способом з додаванням пресованих хлібопекарських дріжджів і солі. До маси борошна додавали лецитин у кількості 3%. Для визначення раціонального дозування концентрату рисового протеїну його додавали в кількості 4%, 8% та 16% до маси борошна з розрахунку забезпечення 20, 30 та 40% добової потреби в білку. Контрольним був зразок з лецитином без концентрату рисового протеїну.

Газоутримувальна здатність тіста. Газоутримувальну здатність характеризували питомим об'ємом тіста під час його бродіння. У мірний циліндр 250 см³ поміщали 50 г тіста та витримували в термостаті при температурі 30 °C протягом 3 годин. Кожні 30 хв від початку замішування фіксували об'єм тіста. Кінцеве значення виражали в см³/г (Medvid, Shydlovska, & Dotsenko, 2018).

Формоутримувальна здатність тіста. Формоутримувальну здатність тіста характеризували за показником розпливання кульки тіста в процесі бродіння. Тісто замішують з рецептурних компонентів температурою 30 °C. Наважку 100 г формують у кульку і кладуть в центр скляної пластини з міліметровою шкалою. Пластинку з тістом розташовують у зволоженому термостаті при 30 °C. Кожні 30 хв протягом 3 год фіксують середній діаметр кульки тіста (Бортнічук, Цирульнікова, & Доценко, 2014).

Інфрачервона спектроскопія в ближній інфрачервоній області. Спектроскопію проводили на спектрометрі Infrapid (Labor-Mim, Угорщина). Спектри відбивання від подрібнених зразків з гладкою поверхнею досліджували в ближньому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль від 1330 до 2370 нм. Спектрометр реєстрував спектр відбиття від досліджуваного зразка та від еталона І0. Спектри представлені як відбиваюча здатність R у відносних одиницях (співвідношення інтенсивностей $I/I_0 = R$), залежно від довжини хвилі в нм (Niewietzki, Tillmann, Becker, & Mollers, 2010). Інтенсивність відбивання вимірювали в тісті після замішування і після 3,5 год бродіння та в хлібі. Виразали інтенсивність відбивання через перерахунок відносного коефіцієнта відбивання до спектрального індексу (Yip, Gausemel, Sande, & Dyrstad, 2012).

Статистичний аналіз. Досліди проводили в трьох повторностях. Графічне представлення експериментальних даних здійснювали за допомогою пакета стандартних програм статистичної обробки — Microsoft Excel 2010.

Викладення основних результатів дослідження. Структурно-механічні властивості тістової системи значною мірою визначають якісні показники готових хлібобулочних виробів. У процесі бродіння в тістовій заготовці відбувається перебіг мікробіологічних, біохімічних, колоїдних процесів, які впливають на формування структури тіста і хліба. Визначальну роль у перебігу цих процесів відіграють компоненти рецептури. Концентрат рисового протеїну як джерело білка, який не бере участь в утворенні клейковинного каркасу, призводить до зміни структури та структурних елементів тіста. Білки клейковини перед змішуванням щільно скручуються, а численні дисульфідні зв'язки відповідають за їх структуру. Щоб розірвати ці дисульфідні зв'язки протеїн клейковини має бути механічно зруйнований шляхом замішування зволоженого тіста. Ці розірвані зв'язки утворюють сульфгідрильні групи, які повинні бути окислені для утворення нових дисульфідних зв'язків для фіксації структури тіста. Однак додавання інгредієнтів може пошкодити глютену мережу, перешкоджаючи формуванню цих зв'язків (Lu, Brennan, Serventi, & Brennan, 2018; Prieto-Vázquez del Mercado, Mojica, & Morales-Hernández, 2022).

Додавання концентрату рисового протеїну вплинуло на питомий об'єм тіста під час його бродіння (рис. 1).

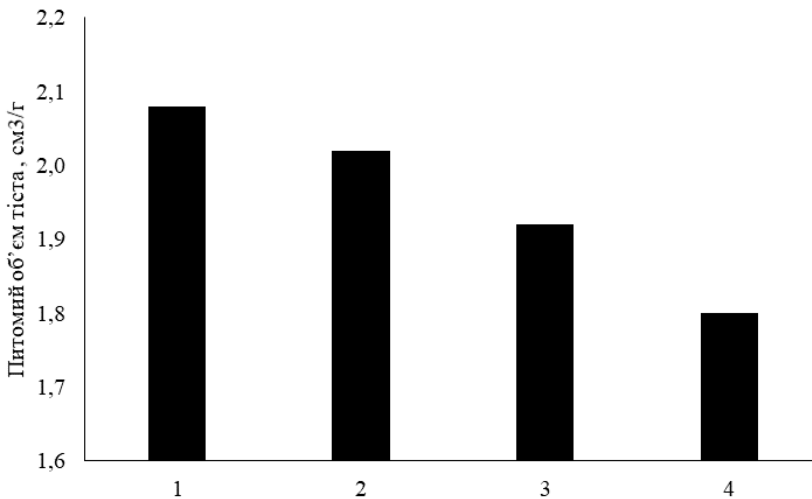


Рис. 1. Питомий об'єм тіста:

1 — контроль; 2, 3, 4 — зразки з 4%, 8%, 16% концентрату рисового протеїну

Встановлено, що використання концентрату рисового протеїну зменшило питомий об'єм тіста на 2,9—13,5 % порівняно з контрольним зразком. Клейковинний каркас послаблюється, що перешкоджає утримуванию бульбашок газу, що утворилися під час бродіння.

Встановлено (рис. 2), що діаметр кульки під час бродіння зменшувався на 3,8—9,6% залежно від дозування концентрату рисового протеїну. Це сприятиме покращенню формоутримувальної здатності хліба.

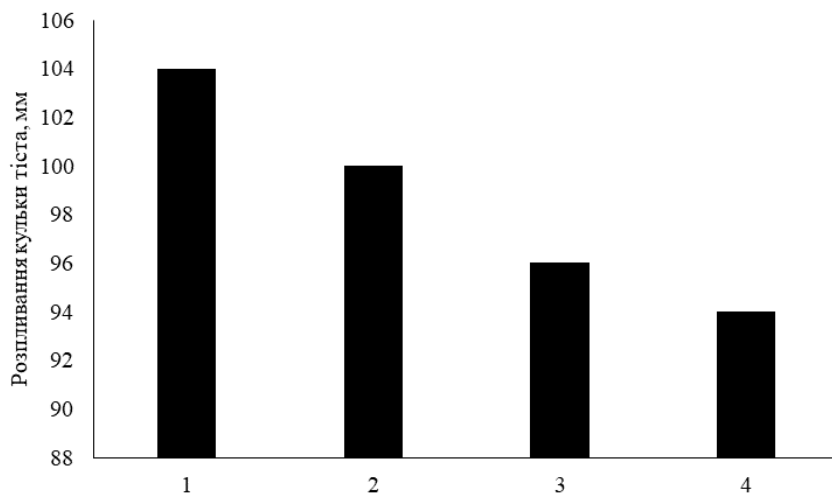


Рис. 2. Розпливання кульки тіста:

1 — контроль; 2, 3, 4 — зразки з 4%, 8%, 16% концентрату рисового протеїну

Зміна структурно-механічних властивостей зокрема пов'язана з конформаційними перетвореннями в структурі тіста.

Аналіз зміни та перерозподілу структурних груп після замісу тіста, через 3,5 год його бродіння та готового хліба проводили методом інфрачервоної спектроскопії шляхом перерахунку коефіцієнта відбиття в спектральний індекс (рис. 3). Досліджували зразок з внесенням 8% концентрату рисового протеїну як середню кількість у досліджуваному діапазоні. Для всіх спектрів спостерігалися максимуми при довжинах хвиль 1460 нм, 1770 нм, 1930 нм, 2100 нм, 2270 нм і 2350 нм.

Екстремум на довжині хвилі 1460 нм відповідає валентним коливанням групи О-Н. Функціональна група S-H присутня на довжині хвилі 1770 нм. Діапазон довжин хвиль 1700—1790 нм може свідчити про проходження в тісті процесу протеолізу. Отже, в спектрах усіх зразків присутні функціональні сульфгідрильні групи S-H (перший обертон) і пологі екстремуми. Спектральний показник контрольного зразка тіста після замісу на піку становив 0,17, а зразка з добавкою — 0,20. Це пояснюється тим, що білки добавки впливають на перебіг протеолізу (Neji, Semwal, Máthé, & Sipos, 2023). Після закінчення бродіння спектри тіста в цьому діапазоні значно зміщені вгору, особливо спектр контрольного зразка, спектральний показник якого становив 0,30, а зразків з добавкою — 0,25. Це пояснюється тим, що концентрат рисового протеїну завдяки вищій водопоглинальній і вологоутримувальній здатності сприяє меншому розрідженню тіста в процесі бродіння. Це забезпечує його краще збереження форми, що підтверджено дослідженням розпливання кульки тіста (рис. 2).

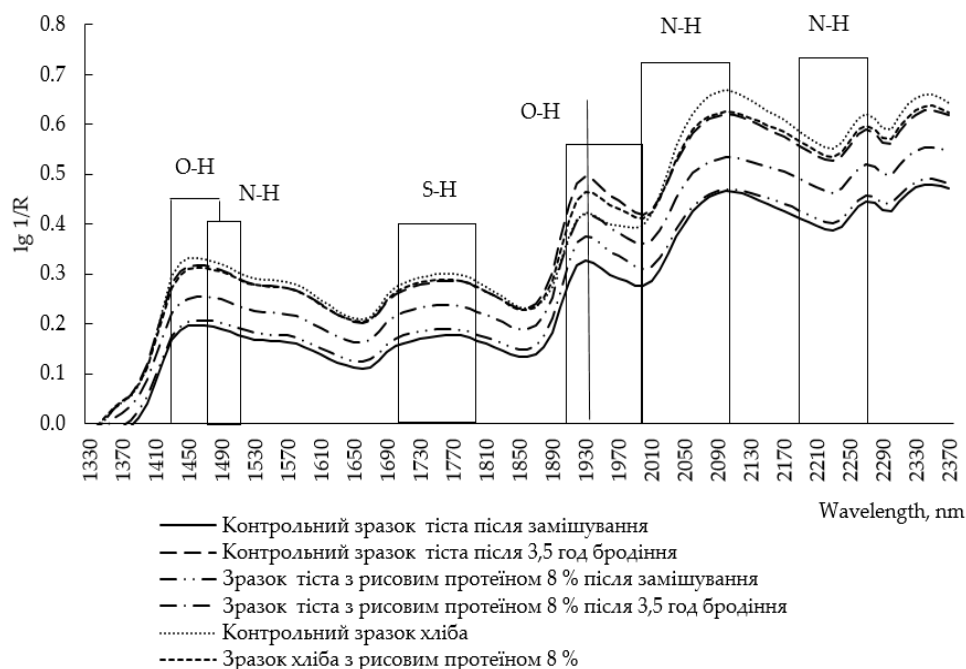


Рис. 3. Зміни та перерозподіл структурних груп у хлібі й тісті з 8% концентрату рисового протеїну після замішування і через 3,5 год бродіння

Спектри випеченого хліба практично перекривалися у всьому діапазоні довжин хвиль, оскільки під час випікання високі температури викликають руйнування білкових структур (Zhou та ін., 2021). У діапазоні довжин хвиль 1700—1790 нм спектральний показник пікового значення становив 0,30, що збігалось зі значенням контрольного зразка після ферментації.

Білкові структури характеризували на довжині хвилі 2100 нм. Спектри тіста після замісу показали, що при додаванні концентрату рисового протеїну він становив 0,48. При тій же довжині хвилі спектральний індекс контрольного зразка становив 0,46. Після ферментації значення були 0,62 для контролю та 0,53 для зразка з добавкою. Такі значення пояснюються тим, що концентрат рисового протеїну не містить клейковинних білків і відповідно не бере участі в утворенні клейковини (Ziobro, Juszczak, Witczak, & Korus, 2015). Крім того, білкові речовини концентрату утворюють комплекси з білками борошна і затримують розвиток клейковинного каркасу.

Також для характеристики білкових груп використовують довжини хвиль 1510 нм, 2060 нм, 2100 нм і 2180 нм, однак піків на цих довжинах хвиль не було. Зокрема, на довжині хвилі 2180 нм характеризується вміст білка без впливу крохмалю, а оскільки вміст крохмалю в тісті є високим через його присутність у пшеничному борошні, на спектрах тіста не було характерних піків.

Вміст лігніну можна оцінити на довжині хвилі 2270 нм (комбінація валентних коливань О-Н / валентності С-О). Оскільки в рисовому білковому концентраті лігніну був відсутній, спектр хліба з ним був дещо нижчим за спектр контрольного

зразка. Це свідчить про практично однакове перетравлення хліба організмом як з добавкою, так і без неї (Thilagavathi та ін., 2020).

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на визначення можливих технологічних прийомів для збільшення питомого об'єму виробів з концентратом рисового протеїну.

Висновки

Визначальну роль у перебігу процесів відіграють компоненти рецептури. Встановлено, що використання концентрату рисового протеїну зменшило питомий об'єм тіста на 2,9—13,5% порівняно з контрольним зразком. Клейковинний каркас послаблюється, що перешкоджає утримуванию бульбашок газу, які утворилися під час бродіння. Діаметр кульки під час бродіння зменшувався на 3,8—9,6% залежно від дозування концентрату рисового протеїну. Це сприятиме покращенню формоутримувальної здатності хліба.

Інфрачервоні спектри тіста та хліба показали різницю у значеннях коефіцієнта відносного відбиття в спектрах тіста контрольного зразка та з додаванням 8% концентрату рисового протеїну як після замішування, так і після бродіння. Концентрат білка рису викликав затримку розвитку глютенної мережі. При цьому спостерігався позитивний вплив на здатність тіста зберігати форму.

Література

- Бортнічук, О. В., Цирульнікова, В. В., Доценко, В. Ф. (2014). Використання пшеничних вівок у виробництві хлібобулочних виробів. *Scientific researches and their practical application. modern state and ways of development*, 3(36), 15—21.
- Cai, J., Yang, L., He, H., Xu, T., Liu, H., Wu, Q., Ma, Y., Liu, Q., Nie, M. (2014). Antioxidant capacity responsible for a hypocholesterolemia is independent of dietary cholesterol in adult rats fed rice protein. *Gene*, 533(1), 57—66. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2013.09.124>.
- Chandi, G. K. Sogi, D. S. (2007). Functional properties of rice bran protein concentrates. *Journal of Food Engineering*, 79, 592—597.
- Chinma, C. E., Ilowefah, M., Balakrishnan, S., Mohammed, M., Muhammad, K. (2015). Effect of addition of protein concentrates from natural and yeast fermented rice bran on the rheological and technological properties of wheat bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(2), 290—297. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12619>.
- Chinma, C. E., Ilowefah, M., Balakrishnan S. B., Ramakrishnan, Y., Muhammad, K. (2014). Chemical, antioxidant, functional and thermal properties of rice bran proteins after yeast and natural fermentations. *International Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12533>.
- Day, L., Cakebread, J. A., Loveday, S. M. (2022). Food proteins from animals and plants: Differences in the nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 428—442. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.020>.
- Lu, X., Brennan, M. A., Serventi, L., Brennan, C. S. (2018). Incorporation of Mushroom Powder into Bread Dough—Effects on Dough Rheology and Bread Properties. *Cereal Chemistry*, 95, 418—427.
- Medvid, I., Shydlovska, O., Dotsenko, V. (2018). The use of sunflower lecithin in the technology of glutenfree bread with enzymatic modification of flour starch. *Food and Environment Safety*, 17(4), 352—362. <http://fens.usv.ro/index.php/FENS/article/view/611>.
- Neji, C., Semwal, J., Máthé, E., Sipos, P. (2023). Dough rheological properties and macronutrient bioavailability of cereal products fortified through legume proteins. *Processes*, 11, 417. <https://doi.org/10.3390/pr11020417>.

Niewietzki, O., Tillmann, P., Becker, H. C., Möllers, C. (2010). A new near-infrared reflectance spectroscopy method for high-throughput analysis of oleic acid and linolenic acid content of single seeds in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 94—100. <https://doi.org/10.1021/jf9028199>.

Phongthai, S., D'Amico, S., Schoenlechner, R., Rawdkuen, S. (2016). Comparative study of rice bran protein concentrate and egg albumin on gluten-free bread properties. *Journal of Cereal Science*, 72, 38—45. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.09.015>.

Prieto-Vázquez del Mercado, P., Mojica, L., Morales-Hernández, N. (2022). Protein Ingredients in Bread: Technological, Textural and Health Implications. *Foods*, 11, 2399. <https://doi.org/10.3390/foods11162399>

Reche, M., Pascual, C. Y., Fiandor, A., Polanco, I., Rivero-Urgell, M., Chifre, R., Johnston, S., Martín-Esteban, M. (2010). The effect of a partially hydrolysed formula based on rice protein in the treatment of infants with CM protein allergy. *Pediatric Allergy and Immunology*, 21(4/1), 577—585. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3038.2010.00991.x>.

Thilagavathi, T., Pandiyan, M., Suganyadevi, M., Sivaji, M., Yuvaraj, M., Sasmitha, R. (2020). Dietary fibre - health benefits. *Research Today*, 2(6), 519—522.

Wang, Z., Liu, Y., Li, H., Yang, L. (2016). Rice proteins, extracted by alkali and α -amylase, differently affect in vitro antioxidant activity. *Food Chemistry*, 206, 137—45. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.042>.

Xue, C., Matros, A., Mock, H. P., Mühling, K. H. (2019). Protein Composition and Baking Quality of Wheat Flour as Affected by Split Nitrogen Application. *Frontiers in plant science*, 10, 642. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00642>.

Yip, W. L., Gausemel, I., Sande, S. A., Dyrstad, K. (2012). Strategies for multivariate modeling of moisture content in freeze-dried mannitol-containing products by near-infrared spectroscopy. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 70, 202—211. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2012.06.043>.

Zhou, Y., Dhital, S., Zhao, C., Ye, F., Chen, J., Zhao, G. (2021). Dietary fiber-gluten protein interaction in wheat flour dough: Analysis, consequences and proposed mechanisms. *Food Hydrocolloids*, 111, 106203. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106203>.

Ziobro, R., Juszczak, L., Witczak, M., Korus, J. (2015). Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 571—580. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2043-5>.