

USE OF WHEY PROTEIN ISOLATE IN THE PRODUCTION OF BAKERY PRODUCTS

Yu. Bondarenko, O. Bilyk, O. Kochubei-Lytvynenko, V. Pivovarova,
A. Krushynska

National University of Food Technologies

Key words:

Whey protein isolate
Fermentation
Dough
Gluten
Bakery product
Elasticity of dough

Article history:

Received 18.11.2024
Received in revised form
02.12.2024
Accepted 16.012.2024

Corresponding author:

O. Bilyk

E-mail:

bilyklena@gmail.com

Citation: Бондаренко Ю. В., Білик О. А., Кочубей-Литвиненко О. В., Півоварова В. В., Крушинська А. С. (2024). Використання ізоляту сироваткових білків у виробництві булочних виробів. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 159—177.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-16

ABSTRACT

Bakery products have a low biological value due to the insufficient content of the essential amino acid lysine in cereals such as wheat and rye. The inclusion of milk proteins in bakery products will not only increase their protein content but also improve their quality. The use of whey protein isolate as a source of animal proteins in the manufacture of bakery products was researched.

According to the results of the research, it was found that the optimal dosage of whey protein isolate, which ensured high quality of products and their enrichment with protein substances, was 10% by weight of flour.

It was found that the addition of whey protein isolate did not change the fermentation process in the dough compared to the control sample and contributed to the intensification of fermentation processes after reaching the first peak of carbon dioxide release.

The study of the structural and mechanical properties of the dough showed that the addition of whey protein isolate led to the formation of a weak dough with low elasticity. The reason for such dough properties is a 67% decrease in gluten content in the dough with the isolate and a deterioration in its quality, since the formed gluten had the appearance of an inelastic viscous mass.

Ensuring the volume, shape stability and porosity of products with a detected deterioration in the rheological properties of the dough was due to the improvement of the gas retention capacity of the dough.

In the manufacture of bakery products with the addition of 10% whey protein isolate, it is recommended to limit the duration of fermentation to reduce dough relaxation and thinning. Based on the dynamics of carbon dioxide emission, it is recommended a dough fermentation time of 45—60 minutes, so that the maximum carbon dioxide emission occurs during the period of proofing of dough pieces. This period of the technological process is also characterized by an improvement in the gas-holding capacity of dough pieces. Together, this will ensure the formation of products with high quality indicators.

ВИКОРИСТАННЯ ІЗОЛЯТУ СІРОВАТКОВИХ БІЛКІВ У ВИРОБНИЦТВІ БУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

Ю. В. Бондаренко, О. А. Білик, О. В. Кочубей-Литвиненко,
В. В. Півоварова, А. С. Крушинська

Національний університет харчових технологій

Хлібобулочні вироби мають низьку біологічну цінність через недостатній вміст незамінної амінокислоти лізину в таких зернових культурах, як пшениця та жито. Включення молочних білків до складу хлібобулочних виробів сприятиме не тільки збільшенню в них вмісту білка, а й покращання його якості, тому передбачено застосування ізоляту сироваткових білків як джерела білків тваринного походження у виготовленні булочних виробів.

За результатами досліджень встановлено, що оптимальним дозуванням ізоляту сироваткових білків, що забезпечує високу якість виробів та збагачення їх білковими речовинами, є 10% до маси борошна. Встановлено, що внесення ізоляту сироваткового білка не змінює характеру процесу бродіння в тісті, порівняно з контрольним зразком, та сприяє інтенсифікації процесів бродіння після досягнення першого піку виділення вуглекислого газу.

Дослідженням структурно-механічних властивостей тіста встановлено, що додавання ізоляту сироваткового білка зумовлює формування тіста слабкого за силою, що має низьку пружність і втрачає еластичність. Причиною таких властивостей тіста є зниження вмісту клейковини в тісті з ізолятом на 67% та погіршення її якості, оскільки сформована клейковина мала вигляд нееластичної в'язкої маси.

Забезпечення об'єму, формостійкості та пористості виробів з ІСБ при виявленому погіршенні реологічних властивостей тіста відбувається завдяки покращанню газоутримувальної здатності тіста.

У виготовленні виробів з додаванням 10% ізоляту сироваткових білків для зменшення розслаблення та розрідження тіста рекомендовано обмежити тривалість його бродіння. За даними динаміки виділення вуглекислого газу можна рекомендувати тривалість бродіння тіста 45—60 хв, щоб максимальне виділення вуглекислого газу припадало на період вистоювання тістових заготовок. Для цього періоду технологічного процесу також характерним буде покращання газоутримувальної здатності тістових заготовок. У комплексі це забезпечить формування виробів з високими показниками якості.

Ключові слова: ізолят сироваткового білка, бродіння, тісто, клейковина, булочні вироби, пружно-еластичні властивості тіста.

Постановка проблеми. Формування правильних харчових звичок у дитини — важливе завдання сучасного суспільства (Juul, Vaidean, & Parekh, 2021). Харчування дитини є передумовою запобігання розвитку в майбутньому неінфекційних захворювань. Сьогодні сучасні моделі харчування дітей потребують пильної уваги, особливо до такого поширеного прийому їжі, як перекушування. За останнє десятиліття статистика збільшення частоти перекушувань зросла серед молоді

всього світу. Причиною цього є інтенсивний темп життя, значні фізичні та когнітивні навантаження дітей і підлітків (Tugault-Lafleur, & Polsky, 2024; Chapelot, 2011; Almoraie, Saqaan, Alharthi, Alamoudi, Badh, & Shatwan, 2019).

Проблема перекушування полягає в тому, що дитина обирає для цього прийому їжі недостатньо цінні для задоволення її фізіологічних потреб харчові продукти, переважно це продукція фаст-фуду, чипси, газовані напої, цукерки тощо (Bharti, & Kulshrestha, 2019). Перспективним напрямком вирішення цієї проблеми є розширення асортименту продукції, яку дитині буде зручно та корисно використати для перекусу. Хлібобулочні вироби можуть бути важливим елементом збалансованого дитячого харчування, однак асортимент хлібних виробів для дитячого харчування обмежений і потребує розширення.

Періоди дитинства та підліткового віку супроводжуються інтенсивними процесами зростання організму, тому харчові продукти повинні бути збагаченні поживними білковими речовинами для забезпечення достатнього надходження цього будівельного інгредієнту в організм дитини (Xiong та ін., 2023; Soliman та ін., 2024). Високу харчову цінність завдяки своєму амінокислотному профілю мають молочні білки, зокрема сироваткові, тому важливим є дослідження застосування ізоляту сироваткових білків як джерела білків тваринного походження у виготовленні булочного виробу для дітей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хлібобулочні вироби завдяки своїй поширеності та доступності є тією категорією продуктів, що впливатимуть на формування здорових харчових звичок у дітей за умови правильного підбору їх рецептурного складу. Недоліком хлібобулочних виробів є їх низька біологічна цінність унаслідок низького вмісту в зернових культурах пшениці та жита незамінної амінокислоти лізину (Mesta-Corral, Gómez-García, Balagurusamy, Torres-León, & Hernández-Almanza, 2024).

Для дітей особливо важливим є надходження з харчовими продуктами молочного білка (Mezzomo, & Nadal, 2014). Включення молочних білків до складу хлібобулочних виробів сприятиме не тільки збільшенню в них вмісту білка, а й покращання його якості.

З точки зору хімічного складу, в коров'ячому молоці 20% молочних білків представлені білками сироватки, інша частина фракцій молочного білка — міцелярний казеїн (Balivo, d'Errico, & Genovese, 2024).

Сироваткові білки та казеїн мають високу харчову цінність завдяки своєму амінокислотному профілю. Для цих білків біологічна цінність із скоригованою засвоюваністю амінокислот (PDCAAS) становить 1, тобто це вказує, що вони є цінним джерелом білка з точки зору балансу незамінних амінокислот та їх засвоюваності (Phillips, 2017).

Сироваткові протеїни та казеїни по-різному впливають на метаболізм і фізіологію людини, оскільки вони по-різному перетравлюються та засвоюються. Казеїни класифікуються як повільнозасвоювані білки, тоді як сироваткові білки є швидкозасвоюваними (Nongonierma, & FitzGerald, 2015). Оскільки сироватковий білок легко засвоюється, це зумовлює швидке підвищення концентрації амінокислот у плазмі, сприяючи синтезу білка в тканинах (Camargo, Doneda, & Oliveira, 2020). У зв'язку з цим сироваткові білки доцільно застосовувати у харчуванні

дитини протягом дня для підтримання росту та відновленню м'язів, а також швидкої компенсації енергетичних витрат. Крім того, дитячий організм має менш зрілий мікробіом кишківника, що спричиняє гірше засвоєння поживних речовин. Сироваткові білки завдяки своїй будові й амінокислотному складу легко перетравлюються, всмоктуються у кров та стають доступними для синтезу м'язового білка. Це є підставою для застосування сироваткових білків у складі харчових продуктів, рекомендованих дітям для перекусів. Казеїн, на відміну від сироваткових білків, під час травлення при взаємодії зі шлунковими кислотами утворює гелеподібну структуру, що уповільнює вивільнення амінокислот у кров, затримуючи їх всмоктування. Тому його доцільно застосовувати у харчових продуктах, які споживаються у вечірній час, щоб його повільне і стабільне засвоєння відбувалося вночі, коли організм переходить у режим відпочинку (Mezzomo, & Nadal, 2014).

В організмі людини сироваткові білки проявляють антиоксидантну та проти-запальну дію, сприяють зниженню артеріального тиску та запобігають ожирінню. Крім того, застосування сироваткових білків у харчуванні дітей може запобігати виникненню резистентності до інсуліну, передвісника діабету 2 типу, та зумовлювати зниження частоти коронарних захворювань і карієсу зубів (Shah, 2014).

Фракцію сироваткового білка отримують із сироватки, яка є побічним продуктом виробництва сиру. Сироватковий білок містить β -лактоглобулін (35—65%) і α -лактальбумін (12—25%), у менших кількостях імуноглобуліни (8%), альбумін (5%) і лактоферин (1%). Білки молочної сироватки є формою глобулярних білків, що містять значну кількість структур α -спіралі з рівномірно розподіленими гідрофільними та гідрофобними, а також кислими та основними амінокислотами вздовж їх поліпептидного ланцюга. Сироватковий білок багатий амінокислотами з розгалуженим ланцюгом, такими як лейцин, ізолейцин і валін, а також містить цистеїн (Camargo, Doneda, & Oliveira, 2020; Patel, 2015).

У промисловості сироватковий протеїн виробляють у вигляді таких товарних форм: концентрат сироваткового білка, що містить 35—85% білка; ізолят сироваткового білка, який отримують завдяки процесу фільтрації, під час якого видаляються лактоза та молочні жири, що забезпечує вищий ступінь чистоти з кінцевим вмістом білка понад 90%; гідролізат сироваткового білка, який є результатом гідролізу молекул сироваткового білка, отриманого з концентрату або ізоляту сироваткового білка, утворюючи менші білкові сегменти, такі як амінокислоти та низькомолекулярні пептиди, покращуючи їх біодоступність для засвоєння (Livne, 2010; Sinha, Cheruppanpullil, Prakash, & Kaultiku, 2007).

Продукти із сироваткового білка демонструють чудові функціональні властивості, такі як висока розчинність, здатність до піно- та гелеутворення, водозв'язувальна здатність, кислотостійкість (Jeewanthi, Lee, & Paik, 2015; Minj, & Anand, 2020). Їх здатність взаємодіяти з фітонцидами та фенольними сполуками в харчових системах зумовлює покращання сприйняття смаку готових харчових продуктів (Balivo, d'Errico, & Genovese, 2024). Висока біологічна цінність і широкий перелік функціональних властивостей продуктів із сироваткового білка обумовлюють їх використання у виробництві харчових продуктів для покращання їх структури, смакового профілю, поживних та інших функціональних властивостей (Sharma, & Chauhan, 2018).

У виробництві традиційних хлібобулочних виробів відзначено застосування сироваткових білків переважно у вигляді концентрату сироваткових білків та у поєднанні його з ізолятами рослинного походження (Kochubei-Lytvynenko, Bilyk, Bondarenko, & Stabnikov, 2022; Erben, & Osella, 2017; Song, Perez-Cueto, & Bredie, 2018; Madenci, & Bilgili, 2014; Gani та ін., 2015).

Сироваткові білки є важливим та поширеним інгредієнтом безглютенової продукції для імітування властивостей глютену завдяки їх емульгуючій, піноутворюючій здатностей та високої стабільності (Skendi, Papageorgiou, & Varzakas, 2021). Мікроструктура сироваткового білка відрізняється від інших молочних білків тим, що вони не мають термічної стабільності вище 70 °C, тому повністю денатурують вище такої температури, що призводить до утворення хорошої білкової мережі у безглютенових системах (Stantiall, & Serventi, 2017). Ізолят і концентрат сироваткових білків було використано в рецептурних композиціях безглютенового крекера, виготовленого на основі рисового борошна (Sarabhai, Indrani, Vijaykrishnaraj, Milind, Kumar, & Prabhasankar, 2015; Nammakuna, Barringer, & Ratanatriwong, 2016); печива з борошна кукурудзи та сорго (Zhu та ін., 2023); кекса на основі нутового борошна (Herranz, Canet, Jiménez, Fuentes, & Alvarez, 2016); мафінів з пшонаного борошна (Jyotsna, Soumya, Swati, & Prabhasankar, 2016).

Сироваткові білки є найбільш перспективними заміниками яєць у харчових продуктах. У технології бісквітного напівфабрикату встановлено доцільність заміни до 25% рецептурної кількості яєць ізолятом сироваткового білка (Díaz-Ramírez та ін., 2016). Застосування концентрату сироваткових білків у технології кексів дало змогу при виключенні з рецептури яєць та заміни ним 20% пшеничного борошна отримати реологічні властивості тіста, що забезпечили формування виробів належної якості (Jyotsna, Sai Manohar, Indrani, & Venkateswara Rao, 2007). Повна або часткова (50%) заміна яєць у рецептурі тіста для кексу можлива також ізолятом сироваткового білка за умови його сумісного використання з емульгатором. При цьому відзначено не лише отримання виробів хорошої якості, але й подовження їх свіжості під час зберігання (Paraskevopoulou, Donsouzi, Nikiforidis, & Kiosseoglou, 2015).

У технології білого шоколаду, виготовленого із заміною сахарози еритритолом, застосування ізоляту сироваткових білків дало змогу отримати вироби належної якості без застосування операції темперування. Поряд з цим відзначено позитивний вплив ізоляту сироваткових білків у запобіганні посивіння поверхні шоколаду під час його зберігання (Nastaj, Sołowiej, Terpiłowski, Kucia, Tomasevic, & Podkościelna, 2024).

Сироваткові білки мають великий потенціал і як джерело цінних поживних речовин, і як інгредієнт з технологічно-функціональними властивостями. Розширення можливостей використання продуктів сироваткових білків у виготовленні харчових виробів з новими властивостями потребує проведення подальших досліджень їх застосування у різних харчових системах.

Мета дослідження: встановити вплив ізоляту сироваткових білків на параметри технологічного процесу та показники якості готових виробів у технології булочних виробів.

Матеріали і методи. З асортименту булочних виробів підібрано базовий виріб для збагачення ізолятом сироваткового білка (контрольний зразок). При цьому було враховано вимоги, які ставляться до виробів дитячого асортименту: виріб не повинен містити у своєму складі маргарину та мати низький вміст доданого цукру. Таким виробом є рогалик молочний з такою рецептурою: 1000 г борошна пшеничного першого сорту, дріжджі хлібопекарські 50 г, сіль кухонна 10 г, цукор білий 20 г, масло вершкове 30 г, а також молоко нативне коров'яче 400 г. Під час проведення досліджень молоко було виключено із базової рецептури для того, щоб встановити безпосередньо вплив ізоляту сироваткового білка, як продукту переробки молока.

Для встановлення технологічно можливого дозування ізоляту сироваткового білка в рецептуру булочних виробів проводили пробне лабораторне випікання. Дослідні зразки тіста замішували з включенням в рецептуру контрольного зразка 5, 10 та 15% до маси борошна ізоляту сироваткових білків.

Для дослідження використовували ізолят сироваткового білка від німецького виробника GermanProt 9000, отриманий завдяки процесу низькотемпературної мікрофільтрації. Ця технологія ефективно видаляє надлишок жиру із продукту та забезпечує високий вміст в ньому білка (Mestawet, France, Mulcahy, & O'Mahony, 2024). Ізолят сироваткового білка — це білий порошок із ледь солодкуватим молочним смаком, у якому масова частка білка становить 93%, жиру — не більше 1%, мінеральних речовин — не більше 2%, води — не більше 4%.

Ізолят сироваткового білка характеризується високою біологічною цінністю, обумовленою складом незамінних амінокислот. З табл. 1 видно, що амінокислотний склад ізоляту сироваткового білка GermanProt 9000 перевищує амінокислотний склад білка пшеничного борошна, що підтверджує доцільність його застосування для покращання біологічної цінності булочних виробів.

Таблиця 1. Амінокислотний склад ізоляту сироваткового білка та пшеничного борошна, г/100 г білка

Амінокислота	Ізолят сироваткового білка	Пшеничне борошно першого сорту
Ізолейцин	6,8	0,53
Лейцин	10,4	0,813
Лізин	9,2	0,265
Метіонін + Цистеїн	4,3	0,40
Фенілаланін + Тирозин	6,0	0,88
Треонін	6,4	0,318
Триптофан	1,9	0,12
Валін	6,0	0,51

Тісто для всіх зразків замішували в тістомісильній машині ESHER (Італія) на першій швидкості 4—6 хв та 6—8 хв на другій швидкості. Початкова температура тіста становила 28—29 °С. Тісто залишали на бродіння протягом 120 хв (з однією обминкою через 60 хв) за температури 30—32 °С. Після бродіння тісто ділили на шматки масою по 250 г, з яких формували тістові заготовки для 2 формових виробів та 1 подового, які поміщали на вистоювання у шафу вистоювання Sveba Dahlin

AB DC-21 (Швеція) за температури 35—38 °С. Кінець вистоювання встановлювали органолептично. Вистояні тістові заготовки випікали в секційній печі Sveba Dahlin AB DC-21 (Швеція) при подачі пару (6 с) за температури 200—220 °С протягом 25—30 хвилин.

Готові вироби аналізували через 3 год після випікання за органолептичними показниками (стан поверхні, правильність форми, структура пористості, еластичність, колір і розжовуваність м'якушки, аромат та смак) (Galenko, Shevchenko, Seccanti, Mignani, & Litvynchuk, 2024).

Масову частку вологи м'якушки виробів визначали методом висушування наважки в сушильній шафі СЕШ-3М (ТОВ «УкрАналитика», Україна) за температури 130 °С протягом 40 хв, кислотність — методом титрування витяжки, приготовленої з м'якушки, розчином гідроксиду натрію або калію в присутності індикатора фенолфталеїну (Hetman, Mykhonik, Kuzmin, & Shevchenko, 2021).

Пористість виробів відображає об'єм пор у певному об'ємі м'якушки, виражений у відсотках до загального об'єму (Verheyen, Albrecht, Elgeti, Jekle, & Becker, 2015). Вимірювання проводилося за допомогою приладу контролю пористості КП.

Формостійкість виробів визначали вимірюванням висоти і діаметра подових виробів (мм) й оцінювали за їх співвідношенням. Об'єм хліба визначали за допомогою спеціального приладу — об'ємомірнику (місткість з дрібним зерном), що працює за принципом витиснення хлібом зерна. Об'єм витисненого зерна (см³), що вимірюють за допомогою циліндра, відповідає об'єму хліба (Shevchenko, Drobot, & Galenko, 2022). Питомий об'єм хліба визначається діленням об'єма хліба на його масу і виражається з точністю до 1 см³/100 г (Zhu, Sakulnak, & Wang, 2016).

Дослідження процесу бродіння в тісті проводили за аналізом динаміки виділення вуглекислого газу зі 100 г тіста за температури 30 °С протягом періоду, що включає тривалість бродіння тіста та вистоювання тістових заготовок. Для визначення цього показника застосовували волюмометричний метод контролю виділеного CO₂ за постійних температури та тиску (Verheyen, Albrecht, Elgeti, Jekle, & Becker, 2015; Munteanu та ін., 2019; Shevchenko, Drobot, & Galenko, 2022).

Реологічні властивості тіста визначали на приладі Alveograph CHOPIN (Франція) за методикою ISO27971 за такими параметрами: пружність (P), розтяжність тіста (L), співвідношення P/L, енергія деформації (W), індекси еластичності та розтяжності. (Labuschagne, Guzmán, Crossa, Biljon, 2023; ДСТУ 4111.4-2002; Криворучко, 2018; Macedo, Nunes, Sousa, & Raymundo, 2020).

Газоутримувальну здатність тіста визначали, спостерігаючи за зміною об'єму зразків від початку бродіння і до моменту опадання тіста в мірних циліндрах за температури 30 °С, відносної вологості повітря 75% та розпливанням кульки тіста (Дробот, 2015). Визначення масової частки клейковини здійснювали її відмиванням згідно стандартної методики. Якість клейковини визначали за розтяжністю над лінійкою (Дробот, 2015).

Уся сировина та реактиви для проведення досліджень відповідали нормативній документації та зберігались у необхідних умовах, зазначених на маркуванні.

Достовірність отриманих результатів забезпечувалася повторенням експериментів тричі. Отримані та представлені результати враховують середньоквадратичне відхилення; графічне представлення експериментальних даних проводили з

використанням стандартних програм статистичної обробки — Microsoft Excel 2010.

Викладення основних результатів дослідження. За результатами пробного лабораторного випікання (табл. 2) встановлено, що внесення ізоляту сироваткових білків (ІСБ) зумовлює підвищення кінцевої кислотності тіста на 0,4—1,0 град, порівняно з контролем, відповідно до збільшення дозування ізоляту. Тісто під час оброблення органолептично характеризувалося зміненими властивостями. Так, за дозування ІСБ 10% до маси борошна воно було менш пружним, а за дозування 1% до маси борошна — нееластичним зі значно меншою пружністю, в'язке та підлипало.

Таблиця 2. Показники технологічного процесу та якості виробів у разі збагачення їх ізолятом сироваткових білків ($n=3$, $p \geq 0,95$, $\delta=3...5\%$)

Показник	Досліджувані зразки			
	Контроль	Внесено ізоляту сироваткових білків, % до маси борошна		
		5	10	15
Тісто				
Масова частка вологи, %	40,1	40,4	40,2	40,5
Тривалість бродіння, хв	120			
Тривалість вистоювання, хв	38	36	39	42
Кінцева кислотність, град	2,0	2,4	2,7	3,0
Характеристика тіста	Достатньо пружне та еластичне	Достатньо пружне та еластичне	Менш пружне та еластичне,	Непружне, більш в'язке, недостатньо еластичне та підлипає
Хліб				
Питомий об'єм, см³/г	2,32	2,34	2,65	2,50
Кислотність, град	1,7	2,1	2,5	2,8
Формостійкість Н/D	0,55	0,63	0,65	0,53
Пористість, %	68,0	68,0	75,0	73,0
Стан поверхні	Гладенька			
Колір скоринки	Світло жовтий	Жовто-золотистий	Світло-коричневий	Коричневий
Колір м'якушки	Світлий		Світлий з кремовим відтінком	
Стан пористості	Розвинена з переважанням дрібних пор у структурі, які мають середню товщину стінки	Розвинена з переважанням середніх за розміром пор у структурі виробу, які мають більш тонку товщину стінки	Розвинена з переважанням середніх за розміром пор у структурі подового виробу та великих пор у структурі м'якушки формового виробу, пори характеризувалися більш тонкою товщиною стінки	Розвинена з переважанням великих за розміром пор у структурі, які мають середню товщину стінки

Еластичність м'якушки	Еластична	Більш еластична, ніж у контролі
Смак та аромат	Властивий булочному виробу	Властивий булочному виробу, більш інтенсивний аромат, відчувається більш приємний післясмак

Тривалість вистоювання тістових заготовок з ізолятом сироваткових білків та контрольного зразка була в межах похибки дослідів.

За зовнішнім виглядом готові вироби (рис. 1) з ізолятом сироваткових білків характеризувалися більш інтенсивним забарвленням скоринки виробів. Так, якщо за дозування 5% до маси борошна ІСБ скоринка набувала більш золотистого забарвлення, порівняно з контролем, то за дозування 10 та 15% ІСБ скоринка вже характеризувалася світло-коричневим і коричневим забарвленням відповідно. До того ж за цих дозувань такі характеристики кольору були властиві не тільки скоринці, але й боковим стінкам формових виробів. Імовірно, що ІСБ як джерело амінокислот сприяє інтенсифікації реакції меланоїдиноутворення, яка супроводжується утворенням не тільки забарвлених речовин, що надають кольору, але й ароматичних сполук. Підтвердженням цього є те, що вироби за дозування 10 та 15% до маси борошна ІСБ характеризувалися більш вираженим, ніж у контролі, ароматом і більш приємним післясмаком. Інтенсифікація реакції меланоїдиноутворення також обумовила формування приємного кремового відтінку м'якушки виробів за дозування 10 та 15% до маси борошна ІСБ.

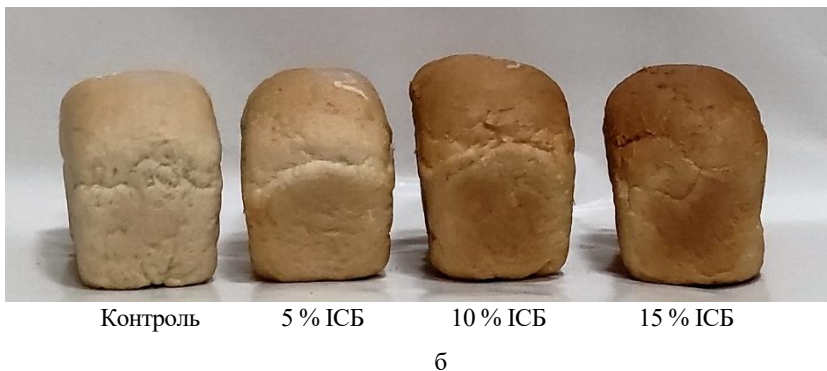
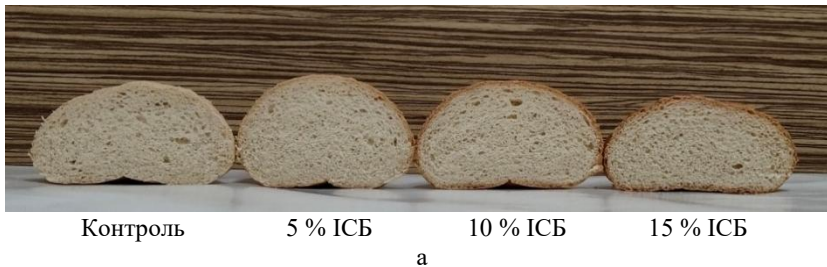


Рис. 1. Фото виробів з додаванням ізоляту сироваткових білків:

а — подові вироби у розрізі; б — формові вироби

У разі внесення ізоляту сироваткових білків відзначаються зміни у формуванні структури пористості м'якушки, зокрема вона стає більш розпушеною, ніж у контролі. Якщо для контролю характерною була дрібна пористість з середньою товщиною стінки пор, то за дозування 5% та 10% формується вже більш тонкостінна пористість з більшими розмірами пор. За дозування 15% до маси борошна ІСБ м'якушка мала пористість з більшою товщиною стінок пор та їх розміром, що візуально впливало на сприйняття структури м'якушки цього виробу як більш грубої, порівняно зі зразками з дозуванням ІСБ 5% та 10% до маси борошна. Загалом, у виробках подових і формових утворення структури пористості відбувалося по-різному. Так, у подових виробках з ізолятом пористість характеризувалася як більш однорідна та менша за розміром пор, ніж у виробках формових з відповідним дозуванням ІСБ. Напевно, для формових виробів внаслідок утримування тіста стінками форм відбувалося більше зростання об'єму тістової заготовки у висоту, що, у свою чергу, зумовлювало ніби «втягування» розміру пор за зростанням тістових заготовок у висоту, особливо це відзначено для виробів з дозуванням ізоляту 10 та 15% до маси борошна.

Дослідження фізико-хімічних показників виробів показало, що дозування 5% до маси борошна ІСБ не впливає на зміну питомого об'єму виробів, в той час, як за дозувань 10% та 15% збільшення питомого об'єму становить на 14,2% та 7,7%, відповідно.

Для подового виробу важливим показником якості є формостійкість. У разі дозування ізоляту покращання формостійкості виробів відзначено у зразках з 5% та 10% до маси борошна ІСБ на 14,5% та 18%, відповідно. Порівняно з ними у зразку з 15% ІСБ формостійкість виробів була меншою, однак залишалася на рівні контролю.

Узагальнюючи результати пробного лабораторного випікання, варто зазначити, що обмеженням використання ІСБ у кількості 15% до маси борошна є значні погіршення структурно-механічних властивостей тіста, що ускладнювало оброблення тістових заготовок. Технологічно доцільним є дозування ІСБ в кількості 10% до маси борошна, що дає змогу сформувати у виробках високі органолептичні показники та фізико-хімічні, адже саме за цього дозування отримано найбільші питомий об'єм і формостійкість виробів.

Оскільки за пробним лабораторним випіканням було виявлено, що внесення 10% до маси борошна ІСБ зумовлює формування виробів з більшим об'ємом і більш розпушеною структурою м'якушки, то було припущено, що можливо значну роль у цьому має інтенсифікація процесів бродіння. Тому досліджено перебіг процесу бродіння в контрольному зразку тіста та дослідному, що містив 10% до маси борошна ІСБ за динамікою виділення вуглекислого газу. На рис. 2 наведено графік з кривими динаміки виділення вуглекислого газу.

Аналіз кривих показав, що для контрольного і дослідного зразків характер бродіння двостадійний з формуванням двох піків виділення вуглекислого газу. Перший пік виділення вуглекислого газу характеризується зброджуванням власних цукрів борошна та сахарози, внесеної за рецептурою (2% до маси борошна), а другий пік — зброджуванням мальтози, що накопичилася у тістовій системі внаслідок гідролітичного розщеплення крохмалю під дією β -амілази. На кривих відзначено, що перебудова дріжджів на зброджування мальтози і в контролі, і в зразку з

ізолятом відбувається на 120 хв бродіння. При цьому до моменту формування на кривих першого піку, що відбувається на 90 хв бродіння для обох зразків, динаміка виділення вуглекислого газу в контрольному зразку була вищою, ніж у зразку з ізолятом. Після досягнення першого піку динаміка виділення вуглекислого газу в зразку з ізолятом підвищується, порівняно з контролем.

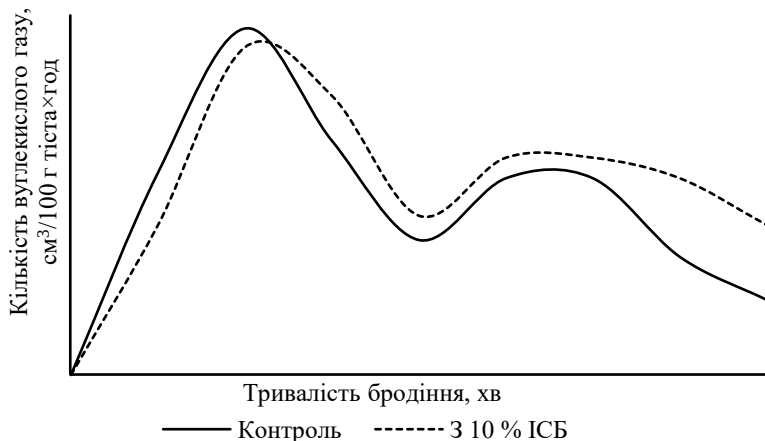


Рис. 2. Графік динаміки виділення вуглекислого газу в тісті

Пояснення такого характеру бродіння може полягати в тому, що ізолят сироваткових білків маючи високі гідрофільні властивості, що обумовлює його високу розчинність під час замішування тіста, конкурує з іншими полімерами (білками клейковини та крохмалем) за воду й утворює у структурі тіста прошарки з розчином сироваткових білків. Збільшення концентрації сухих речовин у рідкій фазі тіста у зразку з ІСБ, порівняно з контролем, зумовлює незначне підвищення осмотичного тиску на дріжджові клітини, що, у свою чергу, дещо пригнічує бродильну активність дріжджів, тому в контролі на початку бродіння інтенсивність виділення вуглекислого газу була вищою. В процесі бродіння внаслідок споживання дріжджами цукрів концентрація сухих речовин у рідкій фазі тіста знижується, а також за цей час дріжджі нарощують свою бродильну активність. Підтвердженням цього є те, що після максимального зброджування власних цукрів борошна та сахарози (внесена за рецептурою), що досягається на 90 хв, інтенсивність бродіння в тісті з ізолятом зростає. Крім того, за цей період дріжджі адаптуються до такого складу рідкої фази тіста. Інтенсифікація бродіння в тісті з ізолятом після 90 хв бродіння, напевно, зумовлена покращенням складом рідкої фази тіста внаслідок того, що сироваткові білки виступають для дріжджів додатковим джерелом живлення у рідкій фазі тіста, а саме джерелом амінокислот (аргініну, тистідину, метіоніну, лізину, треоніну, триптофану та лейцину). Для дріжджів амінокислоти одночасно є джерелом азоту і вуглецю, останній засвоюється із кетокислот, які утворюються в результаті відщеплення аміногруп. Унаслідок асиміляції дріжджами *Saccharomyces cerevisiae* амінокислот забезпечується синтез білка, в тому числі і

ферментів, активуються деякі ферменти, які вже є в клітинах дріжджів, прискорюється процес брунькування дріжджових клітин та інтенсифікуються перебіг процесів бродіння.

Отже, було встановлено, що внесення ізоляту сироваткового білка не змінює характеру процесу бродіння у тісті, порівняно з контрольним зразком, але при цьому сприяє дещо більшому виділенню кількості вуглекислого газу в тісті з ізолятом після досягнення першого піку виділення вуглекислого газу.

Вивчення впливу ізоляту сироваткового білка на формування структурно-механічних властивостей проводили комплексним оцінюванням пружно-еластичних властивостей на альвеографі. Результати дослідження, отримані за допомогою альвеографа, наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Показники пружно-еластичних властивостей тіста за альвеографом (n=3, $p \geq 0,95$, $\delta = 3 \dots 5\%$)

Показники	Контрольний зразок (без ІСБ)	З внесенням 10 % до маси борошна ізоляту сироваткового білка
Пружність, Р, мм	68	29
Розтяжність, L, мм	124	20
Відношення пружності до розтяжності P/L	0,55	1,45
Питома робота деформації, W, 10 о.а.	264	23
Індекс еластичності, Іе, %	57,8	0
Індекс розтяжності, G, мм	248	99,5

У разі внесення ізоляту сироваткового білка в тістовій системі відзначаються суттєві зміни у формуванні структурно-механічних властивостей тіста. Встановлено, що додавання ІСБ погіршує пружність тіста, а саме його здатність чинити опір деформації під дією тиску повітря, на 57%, а також знижує розтяжність тіста, тобто довжину, на яку тісто може розтягнутися до розриву на 84%. Такі суттєві зміни обумовлюють зміни в балансі пружно-еластичних властивостей тіста (P/L). Встановлено, що в контролі P/L становить 0,55, що відповідає середньому діапазону цього показника, що є характерно для борошна зі збалансованими показниками. У зразку з ІСБ відношення пружності до розтяжності становить 1,45, що характерно для тіста малорозтяжного, за цим показником може здатися, що тісто з такими показниками буде характеризуватиметься як сильне, однак у це оманливий висновок і підтвердженням цього є те, що питомою роботою деформації було виявлено, що внесення ІСБ зумовлює формування дуже слабкого за силою тіста. При цьому значно погіршуються його показники індексів еластичності та розтяжності. В той час, як для контролю індекс еластичності становить 57,8%, що характерно для тіста, яке достатньо еластичне та добре відновлює свою форму, то у випадку з внесенням ізоляту індекс еластичності становить 0, що характеризує тісто як взагалі нееластичне і нездатне повертатися до початкової форми. Індекс розтяжності тіста G, який визначається як довжина розтягнутої бульбашки (в міліметрах) перед її розривом, свідчить, що тісто з ізолятом має низьку розтяжність, яка у 2,5 рази менша, ніж у контролі.

Отже, дослідження структурно-механічних властивостей тіста показало, що додавання ізоляту сироваткового білка зумовлює формування тіста дуже слабкого за силою, що має низьку пружність і втрачає еластичність.

Для пояснення виявлених змін у структурно-механічних властивостях тіста проведено дослідження стану клейковини у разі додавання до борошна ізоляту сироваткових білків.

Сироваткові білки, з яких складається досліджуваний ізолят, представлені альбумінами та глобулінами, які є водорозчинними фракціями і не беруть участі в утворенні клейковинної сітки. Включення ізоляту сироваткових білків у тістову систему підвищуватиме в ній загальний вміст білкових речовин, проте вони не здатні утворити клейковину.

Для встановлення впливу ізоляту сироваткових білків на формування клейковини проводили її відмивання з контрольного зразка, що замішували з 100 г борошна та 56 см³ води, та дослідного зразка, замішаного з 100 г борошна, 10 г ІСБ та 56 см³ води. Замішані зразки тіста залишали на 20 хв для набухання клейковини, після чого проводили її відмивання та контролювали якість. Показники якості клейковини наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Показники якості клейковини (n=3, p≥0,95, δ 3...5%)

Показники	Контрольний зразок (без ІСБ)	З додаванням 10% до маси борошна ІСБ
Кількість сирової клейковини, %	27,5	9,2
Розтяжність, см	11,0	7,0
Еластичність	Хороша	Незадовільна
Колір	Світлий з жовтим відтінком	Світлий з жовтим відтінком
Характеристика структури	Пружна властива клейковині	В'язка маса, нееластична, нерозтяжна, швидко розривається

Під час відмивання було встановлено, що в борошні першого сорту (контроль) кількість сирової клейковини відповідає вимогам ГСТУ 46.004-99, за «силою» вона середня, а за якістю клейковини відноситься до першої групи, тобто хороша.

У процесі відмивання клейковини з дослідного зразка було виявлено, що відмити клейковину дуже складно, складається враження, що значна частина білків клейковини перейшла у водорозчинний стан та відмивається з водою, а та частина, що залишається має вигляд в'язкої маси, що ледь утримується в руках.

Встановлено, що внесення ІСБ зумовило зменшення кількості клейковини на 67%, порівняно з контролем. За зовнішнім виглядом це в'язка, нееластична, непружна, дуже липка маса. Для порівняння зовнішнього вигляду клейковини контрольного та дослідного зразків на рис. 3 наведено фото клейковини.

Під час аналізу встановлено, що клейковина зі зразка з ізолятом характеризувалася незадовільною еластичністю, тобто нездатна повертати свою форму після деформації. Поряд з цим, було встановлено, що клейковина за розтяжністю 7 см характеризується як коротка, однак така розтяжність обумовлена не пружністю клейковини, а саме відсутністю пружності, клейковина мала вигляд в'язкої, нерозтяжної маси, що швидко розривалася при розтягуванні.



Контроль



10 % ІСБ

Рис. 3. Фото зовнішнього вигляду клейковини

Отримані властивості клейковини, зокрема втрата нею еластичності та пружності, були причиною зміни структурно-механічних властивостей тіста у разі додавання ізоляту сироваткових білків.

Причинами такого впливу ізоляту сироваткових білків на якість клейковини та структурно-механічні властивості тіста можуть бути:

1) висока водопоглинальна здатність ізоляту сироваткових білків: у середньому ізолят може зв'язувати воду до 400—600% від власної маси, в той час як пшеничне борошно стандартної якості має водопоглинальну здатність близько 58—65% від власної маси. Ця здатність ізоляту вища, ніж у борошна, через те, що сироваткові білки мають більше гідрофільних амінокислотних залишків, які активно зв'язують молекули води, ніж глютеніві білки пшениці. Ізолятом вода зв'язується переважно на молекулярному рівні через гідрофільні взаємодії. Внаслідок високої гідрофільності сироваткових білків при внесенні ізоляту під час замішування тіста відбувається конкурентне з клейковиною та крохмалем зв'язування води сироватковими білками, які, внаслідок їх розчинності, утворюють розчини в прошарках тіста. У такому випадку для набухання білків клейковини залишається менше води і клейковина формується повільніше. Висока водопоглинальна здатність ізоляту зумовлює утворення у структурі тіста в більшій кількості рідкої фази тіста, що є причиною появи липкості тіста;

2) утворення зв'язків при взаємодії сироваткових білків із білками клейковини: сироваткові білки можуть утворювати дисульфідні зв'язки з глютеніном, який є основним компонентом клейковини, та відповідає за міцність клейковини. Ймовірно, це зумовлює порушення структури клейковини. Крім того, зважаючи на високу гідрофільність сироваткових білків, вони взаємодіють із водою, утворюючи водневі зв'язки, що впливають на доступність води для глютенівих білків, а також можуть формувати водневі зв'язки з полярними групами гліадину та глютеніну, що також призводить до ослаблення структури клейковини. Сироваткові білки також містять неполярні ділянки, які можуть взаємодіяти з неполярними ділянками гліадину або глютеніну, утворюючи слабкі гідрофобні зв'язки, що, у свою чергу, впливає на реологічні властивості тіста, погіршуючи розтяжність та стабільність;

3) сироваткові білки можуть утворювати слабкі гелеподібні структури під час замішування тіста внаслідок чого вони частково огортаючи клейковину не дають змоги сформувати міцний каркас, і цим розслабляють тісто.

Усі зазначені вище пояснення обумовлюють розукріплення структури клейковини, що призводить до переходу частини клейковинних білків у рідку та проміжну фазу тіста, які відмиваються під час визначення кількості клейковини, а клейковинні білки, що залишилися, внаслідок структурних змін, втрачають здатність утворювати пружно-еластичну масу.

Отже, сироваткові білки, представлені в основному альбумінами та глобулінами, мають значний вплив на клейковину, змінюючи її структуру та функціональні властивості, внаслідок чого розслабляється структура тіста, воно втрачає свою еластичність і пружність.

Однак за результатами пробного лабораторного випікання було виявлено, що за дозування 10% до маси борошна ІСБ вироби мають значно більший об'єм і формостійкість виробів, ніж у контролі. При цьому попередніми дослідженнями було встановлено, що в період бродіння та вистоювання тістових заготовок, газутворення в цьому тісті було не настільки більшим, як у контролі, щоб зумовити значне покращання об'єму та формостійкості виробів при встановленому погіршенні структурно-механічних властивостей тіста. Тому наступним етапом дослідження було визначення впливу ізоляту сироваткових білків на газотримувальну здатність тіста.

Газотримувальна здатність тіста є комплексним показником, що показує баланс у тісті пружно-еластичних властивостей тіста, тобто здатності тіста одночасно розтягуватися під час бродіння внаслідок збільшення кількості та об'єму газових пухирців та утримувати цей вуглекислий газ. Газотримувальну здатність оцінюють за змінною питомого об'єму тіста. Визначення об'єму тіста проводили кожні 30 хв протягом 4 годин. Результати дослідження представлено на рис. 4.

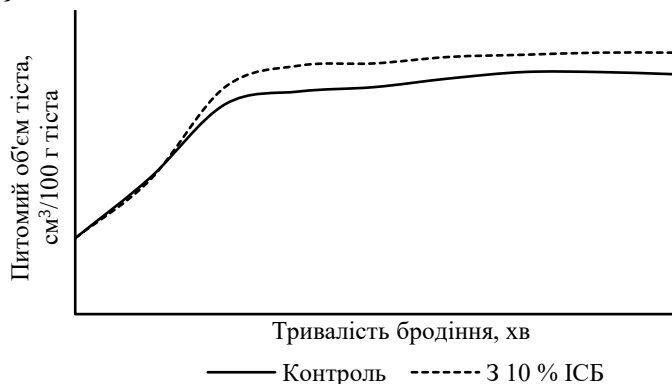


Рис. 4. Питомий об'єм тіста контрольного зразка та зразка з додаванням 10% ізоляту сироваткового білка

Встановлено, що після 30 хв бродіння у зразку з ізолятом сироваткових білків питомий об'єм тіста стає більшим, ніж у контролі, і ця закономірність зберігається протягом всього періоду бродіння. Відзначено, що в середньому питомий об'єм тіста з ізолятом був на 10% більшим, ніж у контролі. Пояснення такого покращуючого ефекту ізоляту сироваткових білків на газотримувальну здатність тіста

може полягати в тому, що в цій тістовій системі зменшується поверхневий натяг. Причиною цього може бути те, що при взаємодії сироваткових білків і білків клейковини внаслідок формування нових зв'язків між ними частина білків клейковини переходить у проміжну фазу тіста. Проміжна фракція білків пшениці, представлена глобулінами та альбумінами, діє як зв'язуючий елемент між основними клейковинними білками, що забезпечує формування тістової структури, яка здатна витримувати тиск вуглекислого газу, сприяючи стабільності газових комірок та запобіганню їх злиття. Поряд з цим сироваткові білки також здатні адсорбуватися на межі фаз тістової системи (рідкої та газової), створюючи білковий шар, що також зумовлює зниження поверхневого натягу та стабілізує газові комірки в структурі тіста, сприяючи більшому утриманню ними вуглекислого газу.

У попередніх дослідженнях було виявлено, що внесення ізоляту сироваткових білків зумовлює формування слабкого тіста, тому таке тісто буде легше розпушуватися вуглекислим газом, що виділяється під період бродіння та вистоювання тістових заготовок. Покращання газоутримувальної здатності тіста з ізолятом, поряд з легким розпушенням тістової заготовки внаслідок розслаблення тістової системи та дещо більшим виділенням вуглекислого газу, сприяє формуванню більшого об'єму виробів.

Для забезпечення оптимальних умов виготовлення виробів з використанням ізоляту сироваткових білків, які б забезпечували досягнення балансу структурно-механічних властивостей тіста та максимальне накопичення вуглекислого газу у період вистоювання тістових заготовок, рекомендовано передбачити тривалість бродіння тіста 45—60 хв.

Висновки

За результатами досліджень встановлено, що оптимальним дозуванням ізоляту сироваткових білків, що забезпечує високу якість булочних виробів, поряд зі збагаченням їх білковими речовинами, є 10% до маси борошна.

Встановлено, що покращання, порівняно з контролем, об'єму, формостійкості та пористості виробів з ІСБ, при виявленому погіршенні якості тіста з ізолятом, забезпечується збільшенням газоутримувальної здатності цього тіста.

У виготовленні виробів з додаванням 10% ізоляту сироваткових білків для зменшення розслаблення та розрідження тіста рекомендовано обмежити тривалість його бродіння. За даними динаміки виділення вуглекислого газу можна рекомендувати тривалість бродіння тіста 45—60 хв, щоб максимальне виділення вуглекислого газу припадало на період вистоювання тістових заготовок. Для цього періоду технологічного процесу також характерним буде покращання газоутримувальної здатності тістових заготовок. У комплексі це забезпечить формування виробів з високими показниками якості.

Подяка

Дослідження було виконане в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи «Наукове обґрунтування та розроблення ресурсоефективних технологій харчової продукції цільового призначення як імператив продовольчої безпеки» 0123U102060.

Література

- Almoraie, N. M., Saqaan, R., Alharthi, R., Alamoudi, A., Badh, L., & Shatwan, I. M. (2021). Snacking patterns throughout the life span: potential implications on health. *Nutrition Research*, 91, 81—94. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2021.05.001>.
- Balivo, A., d'Errico, G., Genovese, A. (2024). Sensory properties of foods functionalised with milk proteins. *Food Hydrocolloids*, 147, 109301. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109301>.
- Bharti, A., & Kulshrestha, K. (2019). Childhood obesity: An overview. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 8(1), 963—980. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.105>.
- Camargo, L. D. R., Doneda, D., & Oliveira, V. R. (2020). Whey protein ingestion in elderly diet and the association with physical, performance and clinical outcomes. *Experimental Gerontology*, 137, 110936. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2020.110936>.
- Chapelot, D. (2011). The role of snacking in energy balance: a biobehavioral approach. *J. Nutr.*, 141, 158—162. <https://doi.org/10.3945/jn.109.114330>.
- Diaz-Ramírez, M., Calderon-Dominguez, G., Garcia-Garibay, M., Jimenez-Guzman, J., Villanueva-Carvajal, A., Salgado-Cruz, M., Paz, P., & Moral-Ramirez, E. (2016). Effect of whey protein isolate addition on physical, structural and sensory properties of sponge cake. *Food Hydrocoll.*, 61, 633—639. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.020>.
- Дробот, В. І. (Ред.). (2015). *Технологічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів*. Київ: Кондор-Видавництво.
- ДСТУ 4111.4-2002 Борошно пшеничне. Фізичні характеристики тіста. Частина 4. Визначення реологічних властивостей альвеографом (ISO 5530-4:1991, MOD). Київ: ДП «УкрНДНЦ».
- Erben, M., & Osella, C. (2017). Optimization of mold wheat bread fortified with soy flour, pea flour and whey protein concentrate. *Food Sci. Technol. Int.*, 23, 457—468. <https://doi.org/10.1177/1082013217701583>.
- Galenko, O., Shevchenko, A., Ceccanti, C., Mignani, C., & Litvynchuk, S. (2024). Transformative shifts in dough and bread structure with pumpkin seed protein concentrate enrichment. *European Food Research and Technology*, 250, 1177—1188. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04454-z>.
- Gani, A., Broadway, A., Masoodi, F., Abas, A., Wani, A., Maqsood, S., & Ashwar, B. (2015). Enzymatic hydrolysis of whey and casein protein-effect on functional, rheological, textural and sensory properties of breads. *J. Food Sci. Technol.*, 52, 7697—7709. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1840-1>.
- Herranz, B., Canet, W., Jiménez, M., Fuentes, R., & Alvarez, M. (2016). Characterisation of chickpea flour-based gluten-free batters and muffins with added biopolymers: Rheological, physical and sensory properties. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 51, 1087—1098. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13092>.
- Hetman, I., Mykhonik, L., Kuzmin, O., & Shevchenko, A. (2021). Influence of spontaneous fermentation leavens from cereal flour on the indicators of the technological process of making wheat bread. *Ukrainian Food Journal*, 10(3), 492—506. <http://dx.doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-3-6>.
- Jeewanthi, R. K. C., Lee, N.-K., & Paik, H.-D. (2015). Improved Functional Characteristics of Whey Protein Hydrolysates in Food Industry. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources. Korean Society for Food Science of Animal Resources*, 35(3), 350—359 <https://doi.org/10.5851/kosfa>.
- Juul, F., Vaidean, G., & Parekh, N. (2021). Ultra-processed Foods and Cardiovascular Diseases: Potential Mechanisms of Action. *Advances in Nutrition*, 12(5), 1673—1680. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab049>.
- Jyotsna, R., Sai Manohar, R., Indrani, D., & Venkateswara Rao, G. (2007). Effect of Whey Protein Concentrate on the Rheological and Baking Properties of Eggless Cake. *International Journal of Food Properties*, 10(3), 599—606. <https://doi.org/10.1080/10942910601048986>.
- Jyotsna, R., Soumya, C., Swati, S., & Prabhasankar, P. (2016). Rheology, texture, quality characteristics and immunochemical validation of millet based gluten free muffins. *J. Food Meas. Charact.*, 10, 762—772. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9361-9>.
- Kochubei-Lytvynenko, O., Bilyk, O., Bondarenko, Yu., & Stabnikov, V. (2022) *Bioenhancement and Fortification of Foods for a Healthy Diet: Whey Proteins in Bakery Products*. Boca Raton: CRC Press.

Криворучко, М. (2018). Пружно-в'язкісні характеристики тістових композицій з кокосовою клітковиною. *Товари і ринки*, 3, 99—108. [http://tr.knute.edu.ua/files/2018/03\(27\)/99_108_Kryvoruchko.pdf](http://tr.knute.edu.ua/files/2018/03(27)/99_108_Kryvoruchko.pdf).

Labuschagne, M., Guzmán, C., Crossa, J., & Biljon, A. (2023). Determining factors of durum wheat bread loaf volume and alveograph characteristics under optimal, drought and heat stress conditions. *Journal of Cereal Science*, 114, 103791. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103791>.

Livney, Y. D. (2010). Milk proteins as vehicles for bioactives. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 15(1—2), 73—83. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2009.11.002>.

Macedo, C., Nunes, M. C., Sousa, I., & Raymundo, A. (2020). Rheology Methods as a Tool to Study the Impact of Whey Powder on the Dough and Breadmaking Performance of Wheat Flour. *Fluids*, 5(2), 50. <https://doi.org/10.3390/fluids5020050>.

Madenci, A., & Bilgili, N. (2014) Effect of whey protein concentrate and buttermilk powders on rheological properties of dough and bread quality. *J. Food Qual*, 37, 117—124. <https://doi.org/10.1111/jfq.12077>.

Mesta-Corral, M., Gómez-García, R., Balagurusamy, N., Torres-León, C., & Hernández-Almanza, A. Y. (2024). Technological and Nutritional Aspects of Bread Production: An Overview of Current Status and Future Challenges. *Foods*, 13(13), 2062. <https://doi.org/10.3390/foods13132062>.

Mestawet, A. T., France, T. C., Mulcahy, P. G. J., & O'Mahony, J. A. (2024). Microfiltration retentate co-product from whey protein isolate production — Composition, processing, applications and potential for value addition. *Trends in Food Science & Technology*, 153, 104739 <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104739>.

Mezzomo, T. R., & Nadal, J. (2014). A segurança alimentar e nutricional do público infanto-juvenil: O leite como componente. *Demetra*, 9, 503—513. <https://doi.org/10.12957/demetra.2014.9485>.

Minj, S., & Anand, S. (2020). Whey Proteins and Its Derivatives: Bioactivity, Functionality, and Current Applications. *Dairy*, 1(3), 233—258. <https://doi.org/10.3390/dairy1030016>.

Munteanu, G. M., Voicu, G., Ferdeş, M., Ştefan, E. M., Constantin, G. A., & Tudor, P. (2019). Dynamics of fermentation process of bread dough prepared with different types of yeast. *Scientific Study & Research*, 20(4), 575—584. <http://surl.li/mbxyjm>.

Nammakuna, N., Barringer, S., & Ratanatriwong, P. (2016). The effects of protein isolates and hydrocolloids complexes on dough rheology, physicochemical properties and qualities of gluten-free crackers. *Food Sci. Nutr.*, 4, 143—155. <https://doi.org/10.1002/fsn3.266>.

Nastaj, M., Sołowiej, B. G., Terpiłowski, K., Kucia, W., Tomasevic, I. B., & Podkościelna, J. (2024). Effects of whey proteins and erythritol combination on the physical and quality characteristics of untempered, high-protein white chocolates without the saccharose addition. *International Dairy Journal*, 157, 106007. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.106007>.

Nongonierma, A. B., & FitzGerald, R. J. (2015). Bioactive properties of milk proteins in humans: A review. *Peptides*, 73, 20—34. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2015.08.009>.

Paraskevopoulou, A., Donsouzi, S., Nikiforidis, C., & Kiosseoglou, V. (2015). Quality characteristics of egg-reduced pound cakes following WPI and emulsifier incorporation. *Food Res. Int.*, 69, 72—79. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.018>.

Patel, S. (2015). Emerging trends in nutraceutical applications of whey protein and its derivatives. *J. Food Sci. Technol.*, 52(11), 6847—6858. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1894-0>.

Phillips, S. (2017). Current Concepts and Unresolved Questions in Dietary Protein Requirements and Supplements in Adults. *Frontiers in Nutrition*, 4, 1—10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2017.00013>.

Sarabhai, S., Indrani, D., Vijaykrishnaraj, M., Milind, A., Kumar, V., & Prabhasankar, P. (2015). Effect of protein concentrates, emulsifiers on textural and sensory characteristics of gluten free cookies and its immunochemical validation. *J. Food Sci. Technol.*, 52, 3763—3772. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1432-5>.

Shah, N. H. (2014). Effect of health on Nutrition/Dairy foods and human nutrition. *The International Journal of Indian Psychology*, 2, 60—64. <https://doi.org/10.25215/0201.009>.

Sharma, K., & Chauhan, E. S. (2018). Multifaceted Whey Protein: Its Applications in Food Industry. *Int. J. Health Sci. Res*, 8, 262—268. https://www.ijhsr.org/IJHSR_Vol.8_Issue.10_Oct2018/38.pdf.

- Shevchenko, A., Drobot, V., & Galenko, O. (2022). Use of pumpkin seed flour in preparation of bakery products. *Ukrainian Food Journal*, 11, 90—101. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2022-11-1-10>.
- Sinha, R., Cheruppanpullil, R., Prakash, J., & Kaultiku, P. (2007). Whey protein hydrolysate: Functional properties, nutritional quality and utilization in beverage formulation. *Food Chem.*, 101, 1484—1491. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.04.021>.
- Skendi, A., Papageorgiou, M., & Varzakas, T. (2021). High protein substitutes for gluten in gluten-free bread. *Foods*, 10, 1997. <https://doi.org/10.3390/foods10091997>.
- Soliman, N., Soliman, A., Alyafei, F., Elsiddig, S., Alaaraj, N., Hamed, N., Ahmed, Sh., & Itani, M. (2024). The varied effects of protein intake during infancy, childhood, and adolescence: Associations with growth metrics, body composition, and pubertal development timelines. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(3), 657—666. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.3.0769>.
- Song, X., Perez-Cueto, F., & Bredie, W. (2018). Sensory-driven development of protein-enriched rye bread and cream cheese for the nutritional demands of older adults. *Nutrients*, 10, 1006. <https://doi.org/10.3390/nu10081006>.
- Stantiall, S. E., & Serventi, L. (2017) Nutritional and sensory challenges of gluten-free bakery products: A review. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 69, 427—436. <https://doi.org/10.1080/09637486.2017.1378626>.
- Tugault-Lafleur, C. N., & Polsky, J. Y. (2024). Temporal snacking patterns among Canadian children and adolescents. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 49(10), 1353—1362. <https://doi.org/10.1139/apnm-2024-0059>.
- Verheyen, C., Albrecht, A., Elgeti, D., Jekle, M., & Becker, T. (2015). Impact of gas formation kinetics on dough development and bread quality. *Food Research International*, 76, 860—866. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.013>.
- Xiong, T., Wu, Y., Hu, J., Xu, S., Li, Y., Kong, B., ..., & Li, Y. (2023). Associations between High Protein Intake, Linear Growth, and Stunting in Children and Adolescents: A Cross-Sectional Study. *Nutrients*, 15(22), 4821. <https://doi.org/10.3390/nu15224821>.
- Zhu, F., Sakulnak, R., & Wang, S. (2016). Effect of black tea on antioxidant, textural, and sensory properties of Chinese steamed bread. *Food Chemistry*, 194, 1217—1223. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.110>.
- Zhu, L., Snider, L., Vu, T. H., Desam, G. P., Herald, T. J., Dogan, H., & Alavi, S. (2023). Effect of Whey Protein Concentrate on Rheological Properties of Gluten-Free Doughs and Their Performance in Cookie Applications. *Sustainability*, 15, 10170. <https://doi.org/10.3390/su151310170>.