



2025

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 31 № 5

*Журнал
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»
видається з 1938 року*

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2025

- Білик О. А., Заброда А. В., Капрельянц Л. В., Непокротова Н. О. Порівняльне дослідження впливу сухої пшеничної клейковини та ферментного препарату для коригування хлібопекарських властивостей борошна 168 *Bilyk O., Zabroda A., Kaprelyants L., Nepokrytova N.* Comparative study of the influence of dry wheat gluten and enzyme preparation for adjusting the bakery properties of flour
- Мукоїд Р. М., Булій Ю. В., Кириленко Р. Г., Сарана В. В. Перспективи використання вітчизняних і закордонних сортів хмелю у пивоварінні 186 *Mukoid R., Bulii Yu., Kyrylenko R. Sarana V.* Prospects for the use of national and foreign hop varieties in brewing
- Юкало В. Г., Крупа О. М., Солопа М. Р. Дослідження казеїнових фракцій для характеристики протеїназ лактококів *L. lactis* ssp. *lactis* 196 *Yukalo V., Krupa O., Solopa M.* Use of casein fractions to characterize proteinases of lactococci *L. lactis* ssp. *lactis*
- Махінько Л. В., Махінько В. М., Грищенко А. М., Ковбаса В. М. Наукові підходи до оптимізації складу харчових концентратів типу мюслі 206 *Makhynko L., Makhynko V., Hryshchenko A., Kovbasa V.* Scientific approaches to the optimization of muesli food concentrate composition
- Годунко Є. В., Бондаренко Ю. В., Юрчак В. Г. Роль заквасок у формуванні якості та харчової цінності хлібобулочних і макаронних виробів 218 *Godunko Ie., Bondarenko Yu., Yurchak V.* The role of sourdough starters in shaping the quality and nutritional value of bakery and pasta products
- Демченко В. Л., Куницький Д. В., Маринін А. І., Рибальченко Н. П., Заремба П. Ю. Особливості структури та властивості полімерних мембран на основі полівінілового спирту і наночастинок Ag/ZnO 236 *Demchenko V., Kunitskyi D., Marynin A., Rybalchenko N., Zarembo P.* Structural features and properties of polymer membranes based on polyvinyl alcohol and Ag/ZnO nanoparticles

Новини освіти і науки

- Доробок українських науковців від видавництва CRC Press 247

УДК 664.87

SCIENTIFIC APPROACHES TO THE OPTIMIZATION OF MUESLI FOOD CONCENTRATE COMPOSITION

L. Makhynko, V. Makhynko, A. Hryshchenko, V. Kovbasa

National University of Food Technologies

Key words:

Muesli
Food concentrates
Extrusion
Flaking
Optimization
Formulation development

Article history:

Received 11.09.2025
Received in revised form
26.09.2025
Accepted 14.10.2025

Corresponding author:

L. Makhynko

E-mail:

makhynkolv@gmail.com

Citation: Махінько Л. В., Махінько В. М., Грищенко А. М., Ковбаса В. М. (2025). Наукові підходи до оптимізації складу харчових концентратів типу мюслі. *Наукові праці НУХТ*, 31(5), 206—217. DOI: 10.24263/2225-2924-2025-31-5-17

ABSTRACT

A study was conducted to examine the physicochemical, structural-mechanical, and sensory characteristics of cereal components to substantiate the formulation of multigrain food concentrates of the muesli type. It was found that the key factor determining the quality and stability of the final product was the structural features of cereal flakes and extrudates. Products obtained by extrusion technology exhibited lower moisture content (5.5—5.9%), higher strength (3.0—6.2 N), and moderate solubility (9.5—11.3%), while samples produced by flaking with roasting showed higher moisture content (10.7—10.9%), lower strength (1.3—1.4 N), and higher solubility (15.0—16.7%). Samples made by simple flaking demonstrated the lowest swelling capacity (2.0—2.4 cm³/g) and water absorption (2.6—2.7 g/g), which is associated with less pronounced starch structure degradation during processing. The highest swelling ability was observed in cereal balls obtained by high-temperature extrusion (6.0—7.5 cm³/g). Comparison of physicochemical indicators showed that differences in technological properties caused heterogeneous behavior of components during preparation; therefore, to ensure a stable texture and uniform consistency of the final product, formulation alignment based on swelling and solubility parameters was required.

Based on experimental data, the composition of grain-fruit mixtures was optimized using the simplex linear programming method, taking into account ingredient cost and caloric value. The rational formulation obtained had an energy value of 339 kcal per 100 g and demonstrated high consumer properties, including pleasant taste, uniform consistency, and attractive appearance. The developed formulation model illustrates the effectiveness of combining experimental evaluation of raw material properties with mathematical optimization.

DOI: 10.24263/2225-2924-2025-31-5-17

НАУКОВІ ПІДХОДИ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ СКЛАДУ ХАРЧОВИХ КОНЦЕНТРАТІВ ТИПУ МЮСЛІ

Л. В. Махинько, В. М. Махинько, А. М. Грищенко, В. М. Ковбаса
Національний університет харчових технологій

Проведено дослідження фізико-хімічних, структурно-механічних і органолептичних характеристик зернових компонентів з метою обґрунтування складу мультизернових харчових концентратів типу мюслі. Встановлено, що основним чинником, який визначає якість і стабільність готового продукту, є особливості структури зернових пластівців і екструдатів. Показано, що продукти, виготовлені за екструзійною технологією, мають нижчу масову частку вологи (5,5—5,9%), вищу міцність (3,0—6,2 Н) і помірну розчинність (9,5—11,3%), тоді як зразки, отримані шляхом плющення з обсмаженням, характеризуються більшим вмістом вологи (10,7—10,9%), низькою міцністю (1,3—1,4 Н) та вищою розчинністю (15,0—16,7%). Для зразків, виготовлених методом плющення, визначено найнижчі показники набухання (2,0—2,4 см³/г) і водопоглинання (2,6—2,7 г/г), що пов'язано з менш вираженою деструкцією крохмальних структур під час оброблення. Найбільш виражену здатність до набухання продемонстрували зернові кульки, отримані методом високотемпературної екструзії (6,0—7,5 см³/г). Зіставлення фізико-хімічних показників показало, що різниця в технологічних властивостях зумовлює неоднорідність поведінки компонентів у процесі приготування, тому для забезпечення стабільної текстури й однорідної консистенції готової страви необхідне узгодження рецептури за показниками набухання і розчинності.

На основі експериментальних даних проведено оптимізацію складу зерно-фруктових сумішей методом лінійного програмування (симплекс-метод) з урахуванням вартості компонентів і калорійності. Визначено раціональну композицію, що має калорійність 339 ккал/100 г і високі споживчі характеристики: приємний смак, однорідну консистенцію, привабливий зовнішній вигляд. Розроблена модель рецептури демонструє ефективність поєднання експериментальних методів оцінювання властивостей сировини з математичною оптимізацією.

Ключові слова: мюслі, харчові концентрати, екструзія, плющення, оптимізація, розроблення рецептури.

Постановка проблеми. Продукти швидкого приготування займають вагому частку серед продукції харчової промисловості. Особливо відчутно зріс попит на харчові концентрати обідніх страв, сухі сніданки, мультизернові батончики, різноманітні снеки з початком повномасштабного вторгнення. Такі продукти мають максимальну енергетичну цінність в одиниці об'єму і ваги, здебільшого порційно розфасовані і мають високі смакові якості. Основною їх перевагою є тривалий термін зберігання, транспортабельність і короткий (не більше 10...15 хв) процес приготування (Macedo, Oliveira, & Santos, 2013; Zhou, 2025).

Нині активно ведуться роботи з розроблення нових видів мультизернових харчових концентратів зі збалансованим хімічним складом і подовженим терміном

зберігання. Одним із видів таких концентратів є мюслі. Традиційно мюслі випускають у вигляді сумішей, основою яких (близько 80%) є продукти перероблення зернових у вигляді пластівців, кульок, кілець тощо. Для виробництва цих компонентів використовують різні технології: високотемпературну екструзію, гідротермічне оброблення з подальшим плющенням та/або обсмажуванням, глазуруванням. Залежно від виду сировини та обраного способу її оброблення отримують зернові продукти, що можуть суттєво відрізнятися за органолептичними, фізико-хімічними, структурно-механічними властивостями. Відмінність властивостей різних компонентів сумішей мюслі призводить до різної поведінки їх у процесі приготування й, відповідно, погіршення органолептичних властивостей готової страви. Крім того, через різну текстуру, об'ємну масу, компоненти зернової основи підлягають самосортуванню в споживчій упаковці, що також створює незручності під час приготування (Curtain, & Grafenauer, 2019).

Дослідження щодо вивчення основних властивостей зернових компонентів, виготовлених за різною технологією, з метою підбору раціонального складу мюслі дасть змогу випускати конкурентоспроможні мультизернові харчові концентрати з високими показниками якості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Напружений ритм життя впливає на раціон харчування сучасної людини. Збільшується попит на продукцію, що відповідає вимогам «швидкого харчування». Разом з тим споживачі все більше уваги звертають й на корисні властивості продукту (Liu, & Cai, 2024; Lin et al., 2025).

Одним із таких харчоконцентратів є мюслі — суміш зернових культур, оброблених за певною технологією та сушених фруктів, ягід, горіхів, насіння тощо. Як продукт здорового харчування, мюслі характеризуються такими споживчі властивостями: співвідношенням основних харчових речовин; високим рівнем вітамінів, макро- та мікроелементів, поліненасичених жирних кислот і вітаміну Е; багаті на харчові волокна; поєднуються з будь-якими рідинами — водою, молоком, кисломолочними продуктами, соками, чаєм, кавою. Також мюслі у своєму складі мають низький вміст солі та доданого цукру.

На українському ринку представлено мюслі як провідних іноземних виробників цього продукту (Nestle (Швейцарія), Н&J Brüggен, Dr.Oetker, Nahne (Німеччина), АХА (Данія)), так і вітчизняних компаній («Лантманнен-Акса» (м. Бориспіль, Київська обл.), «Золоте зерно» (м. Дніпро), ТОВ «Фірма ДІАМАНТ ЛТД, ТМ «Козуб» (м. Полтава), ТМ «Сто пудов» (м. Харків)). Ціна на них змінюється залежно від складу, маси фасування та підприємства-виробника. Мюслі традиційно випускають у вигляді сухих сумішей. Перспективною є технологія виробництва мюслі у вигляді батончиків, які мають м'яку консистенцію, не вимагають додаткової кулінарної або іншої обробки та упаковуються в індивідуальну упаковку (Кордзая, & Ковалів, 2019; Чорней, & Миколенко, 2021).

Основний сировинний компонент мюслі, що становить 80% їх складу, — зернові культури. Передусім це крупи, оброблені за певною технологією: плющення (отримують пластівці товщиною 0,25...0,40 мм); плющення з подальшим обсмажуванням та/або глазуруванням (отримують пластівці товщиною 0,4...0,6 мм); високотемпературної екструзії за високих швидкості і тиску в шнекових екструдерах (отримують вироби, вигляд яких визначається розмірами і формою отворів матриці) (Kaur, Singh, & Singh, 2023).

Низку рецептур мультизернових сумішей функціонального призначення з пластівців, виготовлених з біологічно активованого зерна пшениці, тритикале та голозерного вівса запропоновано фахівцями (Бажай-Жежерун, 2020). Технологія пластівців передбачає гідротермічне оброблення за температури 12—16 °C у три цикли: плющення зерна, підсушування, комбінування згідно з рецептурою.

Досліджено вплив кількості складників суміші пластівців на якісні показники готового продукту. Визначено основні фізико-технологічні показники зернових пластівців. Досліджено співвідношення основних енергогенних речовин у пластівцях на основі біоактивованого зерна.

Науковцями (Жигунов, Мардар, Волошенко, & Брославцева, 2015) проводилась робота щодо розроблення рецептур сумішей на основі вівсяних пластівців з додаванням шматочків сублимованих фруктів.

І. М. Калугіною та І. О. Якименко була запропонована корисна модель на композицію інгредієнтів для приготування граноли з додаванням цукатів фейхоа (патент України № 137182), тобто продукту з підвищеним вмістом біодоступного для вирішення проблеми дефіциту йоду і есенціальних нутрієнтів в харчових раціонах, а також підвищення ефективності їх засвоюваності.

Також ведуться дослідження (Bchir, Jean-François, Rabetafika, & Blecker, 2017) щодо оцінки впливу волокон груші, яблука і фініків на фізико-хімічні текстурні та сенсорні властивості зернових батончиків. Для визначення прийнятності споживача додавали побічні продукти яблучної клітковини (6, 10 і 14%). Внесення 10% супутнього продукту дає зернові батончики з найвищою прийнятністю.

Фахівцями запропоновано новий спосіб виготовлення сухого сніданку на основі пластівців зернових або овочевих культур, який відрізняється тим, що пластівці з'єднують з рідиною, перемішують до насичення, формують і сушать у вакуумно-конденсаційній установці при температурі 46—50 °C і тиску 0,1—0,2 атм. Як рідину використовують сироп або підсолений водний настій лікарських рослин (патент України № 63495).

Дослідження (Ottombrino et al., 2025) пов'язані з розробленням фруктово-зернових батончиків з додаванням *Arthrospira-platensis* (спіруліна), що є прикладом впровадження функціональних біоінгредієнтів у рецептуру. Харчовий склад батончика був розроблений таким чином, щоб отримати збагачені фруктові злакові батончики зі збільшеним вмістом білка до 10% з додаванням 2% спіруліни.

Включення висівок до екструдованих снєків на основі крохмалю дозволяє виробникам задовольнити дві потреби споживачів одночасно — більшу екологічність та вищу харчову цінність. У праці (Tyl, Bresciani, & Marti, 2021) зосередилася на вивченні впливу висівок на фізико-хімічні характеристики екструдованих снєків.

Досліджено застосування плоду шовковиці як антиоксидантного компонента у складі мюслі: встановлено високу антиоксидантну активність, поліпшення жирнокислотного складу, сповільнення швидкості накопичення продуктів окиснення (Kobus-Cisowska, Gramza-Michalowska, Kmiecik, Flaczyk, & Korczak, 2013).

Розроблено рецептуру батончика на основі мюслі з натуральним медом без білого цукру та синтетичних добавок (Laricheva, & Mikhailova, 2020).

Науковцями проводились спроби розробити готові до вживання сухі сніданки (Kumari, Singh, Singh, Bhatia, & Nain, 2019). Сніданок готували шляхом змішування, випікання й охолодження проса, амаранту, повітряної пшениці, насіння льону, насіння соняшнику, родзинок, меду, цукру, олії та води. Вміст поживних речовин на порцію розроблених сніданків становила 12,8% для білка, 13% — для жиру, 34,5% — для кальцію, 20,5% — для заліза від рекомендованої добової норми.

Таким чином, можна зробити висновок, що більшість досліджень, які проводяться, спрямовані на розроблення сумішей харчових концентратів мюслі, які б мали підвищену харчову цінність, функціональність, антиоксидантні властивості тощо. В той же час слід відзначити відсутність інформації щодо підбору складу композицій сумішей мюслі з урахуванням основних фізико-хімічних, структурно-механічних показників рецептурних компонентів, а також оптимізації за харчовою цінністю.

Мета досліджень полягає у вивченні основних фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей зернових компонентів, виготовлених за різною технологією для розроблення рецептурних композицій мюслі, а також оптимізації їх складу за харчовою цінністю.

Матеріали і методи. Під час проведення лабораторних досліджень використовували пластівці пшеничні, пластівці кукурудзяні, кульки рисові, кульки кукурудзяні (ДСТУ 4634:2006), пластівці вівсяні (ГОСТ 21149-93), пластівці ячмінні (ТУ У 10.6-13929625-001:2023); сушені фрукти: банани, ананаси, кокоси (ДСТУ 8743:2017), яблука (ДСТУ ISO 7701:2019), родзинки (ДСТУ ISO 4125:2013).

Органолептичні, фізико-хімічні показники якості визначали за загальноприйнятими в галузі методиками.

Міцність визначали, використовуючи прилад ПБ-5058-004 (модифікований прилад Строганова, на рухомі опори якого додатково була встановлена металева негнучка пластина).

Дослідження проводили за такою методикою: зразок вміщують на пластину і після натискання кнопки «ПУСК» прилад в автономному режимі починає стискати зразок, при цьому навантаження може досягати 30 Н. Дослідник візуально визначає момент руйнування зразка і за допомогою пульта керування зупиняє процес, повертаючи прилад у вихідне положення. Таким чином визначається мінімальне навантаження, необхідне для руйнування досліджуваного зразка.

Здатність до набухання визначали методом вимірювання об'єму набухлого продукту після його змішування з водою. Для цього в склянку зважують з похибкою не більше $\pm 0,01$ г наважку продукту масою 5,0 г, змішують з 70,0 см³ дистильованої води. Суспензію без втрат переносять у мірний циліндр, доводять загальний об'єм до 100 см³, ретельно перемішують і залишають на 4 год. Потім вимірюють об'єм набухлого продукту на межі розділу осаду і надосадової рідини.

Здатність до набухання (H) визначають за формулою:

$$H = V/m, \quad (1)$$

де V — об'єм набухлого продукту, см³; m — маса наважки продукту, г.

Розчинність і водопоглинальну здатність визначали за методом, запропонованим Т. Дж. Шохом для дослідження модифікованих крохмалів та їх похідних.

У відтаровані центрифужні пробірки вносять наважку продукту 1,0 г, доливають дистильованою водою до маси 30,0 г і перемішують вміст протягом 30 хв.

Потім центрифугують пробірки протягом 10 хв при частоті 6000 хв⁻¹. Рідку фазу зливають у конічні колби місткістю 250 см³. Зважують відцентрифуговані пробірки і за різницею мас знаходять масу набухлого осаду.

У відтаровані скляні стакани з широким горлом відбирають по 10,0 г рідкої фази. Вміст випарюють на водяній бані (близько 2 год), а потім висушують сухий осад в термостаті за температури 60 °С протягом 1 год. Стакани зважують і ставлять на досушування ще на 15 хв. Якщо різниця зважувань не більше ±0,01 г, то сушіння припиняють.

Розчинність (P) (у % до сухих речовин продукту) розраховують за формулою:

$$P = \frac{b \times 30}{a \times 10} \times 100, \quad (2)$$

де b — кількість сухого осаду після сушіння в термостаті, г; 30 — початкова кількість продукту, г; a — кількість сухих речовин продукту в початковій наважці, г; 10 — кількість центрифугату, взятого для випаровування, г.

Водопоглинальну здатність (B , г/г) розраховують за формулою:

$$B = W/a; W = r - a, \quad (3)$$

де W — вода, зв'язана осадом, г; r — маса залишку в центрифужній пробірці, г.

Оскільки частина сухої речовини продукту переходить у розчин, проведена кореляція:

$$a_{кор.} = [a - (100 - P)/100]; \quad (4)$$

$$W_{кор.} = r - a_{кор.} \quad (5)$$

Звідси кореляційний показник водопоглинальної здатності, г/г:

$$B_{кор.} = W_{кор.}/a_{кор.} \quad (6)$$

Оптимізацію складу сумішей проводили методом лінійного програмування (симплекс-метод) (Tripathi, & Kumar, 2023).

Викладення основних результатів дослідження. Перший етап досліджень було присвячено вивченню основних фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей зернових компонентів, виготовлених за різною технологією: високотемпературною екструзією (рисові кульки, кукурудзяні пластівці, кукурудзяні кульки, пшеничні пластівці), плющенням з подальшим обсмажуванням (кукурудзяні, пшеничні пластівці), плющенням зернової (вівсяні, пшеничні, ячмінні пластівці) та фруктової (сушені кокос, ананас, яблука, родзинки) сировини.

У сумішах харчових концентратів масова частка вологи сировини є одним з вирішальних факторів якості продукту і тривалості його зберігання. Проведено вимірювання масової частки вологи сировинних компонентів для мюслі (табл. 1). Таким чином визначили, що масова частка вологи зернових компонентів відповідає вимогам відповідних стандартів. Продукти, одержані за екструзійною технологією, мали найменший вміст вологи порівняно з іншими компонентами, що пояснюється особливістю оброблення зернової сировини в екструдерах за високих температур і тиску. Найвищі показники масової частки вологи мали сушені фрукти, зокрема родзинки. Ці дані слід враховувати при проектуванні рецептур зерно-фруктових сумішей, оскільки це визначатиме характер змін, які відбуваються в процесі сумісного зберігання компонентів в упаковці.

Також одним з важливих показників, які обумовлюватимуть органолептичні показники якості готової страви, є міцність рецептурних компонентів (табл. 1).

Показник механічної міцності характеризує структуру продукту. Визначаючи міцність зразків, можна зробити висновки, які пластівці характеризуватимуться кращою розжовуваністю, а які гіршою. Результати визначення міцності зернових компонентів, виготовлених за різною технологією, дадуть змогу врахувати особливості структури різних компонентів при складанні рецептурної суміші.

Таблиця 1. Масова частка вологи та міцність сировинних компонентів

Назва компоненту, виготовленого:	Масова частка вологи, % ($\pm 0,5$)	Міцність, Н ($\pm 0,5$)
екструзійною технологією:		
рисові кульки	5,5	3,0
кукурудзяні пластівці	5,7	6,2
кукурудзяні кульки	5,8	3,4
пшеничні пластівці	5,9	6,0
плющенням з обсмаженням:		
кукурудзяні пластівці	10,7	1,3
пшеничні пластівці	10,9	1,4
плющенням:		
вівсяні пластівці	11,5	1,8
пшеничні пластівці «Екстра»	11,8	2,0
ячмінні пластівці «Екстра»	11,9	2,0
Сушені фрукти:		
кокоси	14,3	—
банани	15,2	—
яблука	18,9	—
родзинки	19,8	—

Відмінність властивостей різних компонентів сумішей м'ясли призводить до різної поведінки в процесі приготування. Важливо, щоб у процесі приготування страви всі компоненти набухали більш-менш з однаковою швидкістю, що забезпечить кращі органолептичні показники.

Як видно з табл. 1, найменшими показниками міцності характеризуються пластівці, виготовлені методом плющення з подальшим обсмаженням, а найбільшими — зернові продукти, виготовлені методом екструзії. Як відомо (Alam, Kaur, Khaira, & Gupta, 2016), у формуванні структури екструдатів значну роль відіграє крохмаль, перетворення якого в процесі екструзії визначатиме якість готового продукту. Це можна пояснити тим, що сировина в екструдері знаходиться у в'язко-плинному стані розплаву — при охолодженні стабілізується додатковими зв'язками, в тому числі ковалентними, що призводить до більшої пружності й меншої здатності до деформації перегрітою парою на виході з матриці екструдера. Отже, структура продукту буде більш міцна порівняно з технологією плющення.

Також було досліджено основні фізико-хімічні властивості зернових компонентів: ступінь набухання, розчинність, водопоглинальну здатність (табл. 2), показники, що демонструють можливість зв'язувати воду та розчинятися в ній, характеризують їх вуглеводний склад, а також споживчі властивості.

Продукти перероблення зернових культур (пластівці, кульки тощо) — це крохмалемістка сировина, що має здатність набухати у воді чи іншому середовищі й

утримувати значну кількість поглинутої води. Ця властивість оцінюється в основному за показником ступеня набухання у воді та розчинності.

Таблиця 2. Основні фізико-хімічні показники якості зернових сировинних компонентів

Назва компонента, виготовленого:	Ступінь набухання, <i>H</i> , см ³ /г, (±0,1)	Розчинність, %, (±0,5)	Водопоглинальна здатність, г/г, (±0,2)
екструзійною технологією:			
рисові кульки	6,0	11,3	6,5
кукурудзяні пластівці	3,0	9,5	3,2
кукурудзяні кульки	7,5	11,2	6,0
пшеничні пластівці	3,3	9,7	3,8
плющенням з обсмаженням:			
кукурудзяні пластівці	3,6	15,0	5,0
пшеничні пластівці	3,8	16,7	5,2
плющенням:			
вівсяні пластівці	2,4	10,2	2,6
пшеничні пластівці «Екстра»	2,0	10,3	2,7
ячмінні пластівці «Екстра»	2,2	10,0	2,7

Це зумовлює необхідність дослідження здатності до набухання (*H*) для зразків різних видів зернових компонентів і фруктів, що є важливим з практичної точки зору. Результатом набухання є збільшення об'єму зразків. Отримані дані ступеня набухання зернових сировинних компонентів, виготовлених за різними технологіями, наведено в табл. 2.

Важливу роль у цьому процесі відіграє такий компонент зернової сировини, як крохмаль. Причиною набухання є проникнення молекул води всередину зернових пластівців (кульок), зокрема в міжланцюговий простір клейстеризованого крохмалю. Як свідчать наведені дані, найкращу здатність до набухання мають зернові кульки, виготовлені за екструзійною технологією. Це можна пояснити більш інтенсивною дифузією молекул відновника, що спричиняє збільшення об'єму продукту. Серед пластівців більш вищий показник здатності до набухання мали ті, які виготовлені екструзією або плющенням з подальшим обсмажуванням. Зернові пластівці, отримані технологією плющення, характеризуються досить низькою здатністю набухати у воді. Очевидно, що така поведінка зернових компонентів обумовлена особливостями параметрів оброблення крохмалемісткої сировини.

Результати досліджень показників розчинності та водопоглинальної здатності сировинних компонентів також наведено в табл. 2.

Відомо, що розчинність продукту залежить від кількісного вмісту крохмалю у вихідній сировині (із збільшенням вмісту крохмалю зростає розчинність), наявності супутніх компонентів (білки, ліпіди послаблюють вплив параметрів оброблення на крохмаль і призводять до зменшення розчинності). При взаємодії продукту з відновниками процеси набухання і розчинення є взаємопов'язаними, і зростання розчинності може призводити до зменшення набухання продукту.

Результати визначень свідчать про те, що найбільшою розчинністю характеризуються зернові пластівці, отримані плющенням з обсмажуванням. Ймовірно, це

пов'язано з тим, що на стадії обсмажування в продукті утворюється додаткова кількість водорозчинних речовин. Найменший показник розчинності мали зернові пластівці, виготовлені за екструзійною технологією. Ця технологія передбачає дві стадії: екструзійне варіння крупи з подальшим її плющенням, що сприятиме утворенню більш щільної структури готового продукту і, відповідно, дещо меншої кількості водорозчинних речовин (Chen, 2025).

Крім способу оброблення зернової сировини, вагомим фактором, що впливатиме на показники розчинності та водопоглинання, на нашу думку, є характерні відмінності в будові зернівок різних культур. Дрібніші зерна крохмалю та більш жорстка білкова матриця в будові зернівки утворюють щільний зв'язок, що ускладнює вплив деструктуючих факторів оброблення, роблячи несуттєвою трансформацію полісахаридів крохмалю і, як наслідок, пластівці мають низьку розчинність. Це підтверджується дослідженнями вчених (Itagi, 2025; Sumczynski, Bubelová, Fišerová, & Orsavová, 2023).

На підставі наведених вище результатів можна стверджувати, що зернові продукти (пластівці, кульки), виготовлені за різними технологіями, мають відмінності в основних технологічних показниках. Це можна пояснити різним вмістом крохмалю в дослідних зразках, різною інтенсивністю перебігу процесів клейстеризації та деструкції крохмальної складової різної сировини, що зумовлено особливостями будови їх нативної форми. Це й призводить до різної їх поведінки, зокрема при взаємодії з водою. Одержані дані можуть слугувати основою при розробленні сумішей пластівців.

На підставі одержаних даних можна розробляти рекомендації щодо більш раціонального підбору складу полікомпонентних зернових сумішей за подібністю їх основних технологічних показників. Також ці дані можуть слугувати основою для рекомендацій способу приготування готових страв м'яси з метою забезпечення високих органолептичних показників.

При складанні рецептурних композицій харчових концентратів м'яси більшість виробників керується передусім органолептичними показниками чи вартістю, не враховуючи при цьому їх харчової цінності, тому на другому етапі роботи було вирішено оптимізувати склад фруктово-зернових сумішей з залученням інструментів математичного моделювання, зокрема методів лінійного програмування (симплекс-метод).

Проведено оптимізацію складу зернових сумішей за вартістю і калорійністю, використовуючи спеціальне програмне забезпечення. В результаті отримали наступний оптимальний вміст зернових пластівців і сушених фруктів у суміші з мінімальною ціною:

- пластівці вівсяні (плющення) — 30,0 г;
- пластівці ячмінні (плющення) — 26,0 г;
- пластівці пшеничні (плющення) — 5,0 г;
- пластівці кукурудзяні (плющення з обсмаж.) — 5,0 г;
- кульки кукурудзяні (екструзія) — 5,0 г;
- банани сушені — 18,0 г;
- родзинки — 6,0 г;
- яблука сушені — 5,0 г.

Калорійність даної композиції складає 339,0 ккал.

Було визначено органолептичні показники якості розробленої суміші (табл. 3).

Таблиця 3. Органолептичні показники розробленої суміші

Показник	Суміш п'яти видів зернових пластівців з додаванням		
	родзинки (6%)	яблука сушені (5%)	банани сушені (18%)
Смак	приємний, відповідний, виражений достатньо		приємний, але недостатньо виражений
Запах	приємний, відповідний добавці		
Розжовуваність	добра	добра	відчуються тверді частинки
Консистенція готової страви	однорідна кашоподібна з відчутними включеннями фруктів		
Зовнішній вигляд	привабливий, з жовтими та коричневими краплями		

Також було розраховано харчову цінність розробленої композиції суміші мюслі (табл. 4).

Таблиця 4. Середній хімічний склад і харчова цінність суміші

Компонент	Добова потреба	Вміст у 100 г суміші	Інтегральний скор 100 г суміші, %
Білки, г	52	8,51	16,37
Жири, г	53	3,67	6,92
Вуглеводи, г	304	67,93	22,35
Мінеральні речовини, мг			
Кальцій	1100	13,89	1,26
Фосфор	1200	372,53	31,04
Магній	350	111,19	31,77
Залізо	17	6,56	38,59
Цинк	12	4,43	36,92
Вітаміни, мг			
В ₁	1,3	0,34	34,15
В ₂	1,6	0,42	26,25
В-каротин	1,8	0,09	5,0
РР	16	2,84	17,75
С	70	4,92	7,03
Енергетична цінність, ккал	1900,0	338,79	17,83

Аналізуючи наведені дані, можна зробити висновок, що запропонована композиція має не лише високі органолептичні показники, але й досить збалансований хімічний склад. Вживання 100 г суміші покриває добову потребу дорослого населення I групи інтенсивності праці віком 30—39 років (жінки) у білках на 16,4%, жирах — 6,9%, вуглеводах — 22,4%, а також є джерелом фосфору, магнію, заліза, цинку та вітамінів В₁ і В₂. Добова потреба в енергії покривається на 17,83%.

Отже, використання методів лінійного програмування (зокрема, симплекс методу) надає можливість розробляти рецептурні композиції сумішей харчових концентратів з високими органолептичними показниками, низькою вартістю та калорійністю. При цьому досягається легкість варіювання складу компонентів суміші та швидкість розрахунку необхідного їх співвідношення.

Висновки

На основі узагальнення теоретичного і практичного матеріалу підтверджено зростаючу популярність сумішей мультизернових харчових концентратів зі збалансованим хімічним складом і подовженим терміном зберігання.

Розглянуто можливість розроблення рецептурних сумішей мультизлакових харчоконцентратів з використанням різних видів зернових пластівців і сушених фруктів. Проведено певний ряд досліджень органолептичних, основних фізико-хімічних і технологічних властивостей обраних сировинних компонентів.

Зважаючи на отримані результати досліджень технологічних показників сировинних компонентів, було надано рекомендації щодо складання рецептурних сумішей мультизернових харчових концентратів.

Методами лінійного програмування (симплекс-метод) оптимізовано склад зерно-фруктових сумішей за показниками вартості та калорійності. Запропоновано рецептурну композиції із сировини, наявної на ринку, а також з додаванням різних видів сушених фруктів.

Розрахунок харчової цінності розробленої рецептурної композиції мюслі характеризується підвищеною харчовою цінністю, є хорошим джерелом мінералів і вітамінів.

Література

Бажай-Жежерун, С. А. (2020). Зернові пластівці функціонального призначення. *Food Additives. Healthy Man and Human Patient Diet: Proceedings of the IX International Scientific and Practical Internet Conference*, 156—157. Oktan-Print s. r. o.

Жигунов, Д. О., Мардар, М. Р., Волошенко, О. С., & Брославцева, І. В. (2015). Розробка сумішей на основі зернових пластівців: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Харчові технології, хлібопродукти і комбікорми», 76—78.

Кордзая, Н. Р., & Ковалів, І. О. (2019). Асортимент батончиків зернових на регіональному ринку. *Товари і ринки*, 1(29), 40—51.

Чорней, К., & Миколенко, С. (2021). Перспективи вдосконалення рецептурного складу зернових батончиків та аналіз ринку. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях*, 2(8), 127—135.

Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H., & Gupta, K. (2016). Extrusion and extruded products: Changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 445—473. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568>.

Bchir, B., Jean-François, T., Rabatafika, H. N., & Blecker, C. (2017). Effect of pear apple and date fibres incorporation on the physico-chemical, sensory, nutritional characteristics and the acceptability of cereal bars. *Food Science and Technology International*, 24(3), 198—208. <https://doi.org/10.1177/1082013217742752>.

Chen, J. (2025). Effect of extrusion processing on the structural, functional and physicochemical properties of cereal products. *Journal of Cereal Science*, 110, 103879. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2025.103879>.

Curtain, F., & Grafenauer, S. (2019). Comprehensive nutrition review of grain-based muesli bars in Australia: An audit of supermarket products. *Foods*, 8(9), 370. <https://doi.org/10.3390/foods8090370>.

- Itagi, H. B. (2025). Rice flakes muesli: A novel nutrient-dense gluten-free product. *Journal of Food Science and Technology*, 62(2), 185—192.
- Kaur, J., Singh, B., & Singh, A. (2023). Effect of extrusion processing on techno-functional properties, textural properties, antioxidant activities, *in vitro* nutrient digestibility and glycemic index of sorghum-chickpea-based extruded snacks. *Journal of Texture Studies*, 54, 21. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12760>.
- Kobus-Cisowska, J., Gramza-Michalowska, A., Kmiecik, D., Flaczyk, E., & Korczak, J. (2013). Mulberry fruit as an antioxidant component in muesli. *Agricultural Sciences*, 4(5B), 130—135. <https://doi.org/10.4236/as.2013.45B022>.
- Kumari, R., Singh, K., Singh, R., Bhatia, N., & Nain, M. S. (2019). Development of healthy ready-to-eat (RTE) breakfast cereal from popped pearl millet. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 89(5). <https://doi.org/10.56093/ijas.v89i5.89681>.
- Laricheva, K., & Mikhailova, O. (2020). Development of scientifically-based recipe and technology for the production of natural honey-based muesli bar. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 613(1), 012067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012067>.
- Lin, Z., Zeng, M., Sui, Z., Wu, Y., Zhang, H., & Liu, T. (2025). Associations of breakfast cereal consumption with all-cause and cause-specific mortality: a large-scale prospective analysis. *Nutrition Journal*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12937-025-01109-5>.
- Liu, Y., & Cai, Z. (2024). *Causal relationship of cereal intake and type with cardiovascular disease: Mendelian randomization study* [Preprint].
- Macedo, I. S. M., Oliveira, A. L., & Santos, L. M. (2013). Quality-by-design approach for packaging of granola and muesli products. *Food Packaging and Shelf Life*, 5(1), 45—52.
- Ottobrino, A., Cianciabella, M., Medoro, C., Picariello, A., Oliviero, A., De Sena, V., Predieri, S., & Rossi, M. (2025). Sensory analyses-driven formulation of fruit cereal bars enriched with *Arthrospira platensis* dried powder. *Food Science & Nutrition*, 13(4), e70154. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70154>.
- Sumczynski, D., Bubelová, Z., Fišerová, M., & Orsavová, J. (2023). The effect of flake production and *in vitro* digestion on mineral availability in flakes and muesli. *LWT — Food Science and Technology*, 182, 114752. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114752>.
- Tripathi, S. K., & Kumar, R. (2023). A short literature on linear programming problem. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 10(1), e4516. <https://doi.org/10.4108/ew.4516>.
- Tyl, C., Bresciani, A., & Marti, A. (2021). Recent progress on improving the quality of bran-enriched extruded snacks. *Foods*, 10(9), 2024. <https://doi.org/10.3390/foods10092024>.
- Zhou, Y. (2025). Storage stability of berry mueslis with special focus on phenolic compounds. *Journal of Food Composition and Analysis*, 126, 105656. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.105656>.