

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-367-32>

УДК 664.694-021.4

КОСТЕЦЬКА КАТЕРИНА

Уманський національний університет, м. Умань, Україна

<http://orcid.org/0000-0003-2387-5400>

e-mail: kostetskakateryna@gmail.com

ГЕРАСИМЧУК ОЛЕНА

Уманський національний університет, м. Умань, Україна

<http://orcid.org/0000-0003-4242-0946>

e-mail: elena.gerasim4uk@ukr.net

ГРИЩУК РОМАН

Уманський національний університет, м. Умань, Україна

ORCID ID: 0009-0008-0108-1654

e-mail: rhryshchuk3332@gmail.com

КОЛІСНИК ДМИТРО

Уманський національний університет, м. Умань, Україна

<http://orcid.org/0009-0008-9021-1210>

e-mail: kolisnikdima2@gmail.com

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТІСТА ТА ЯКІСТЬ БЕЗГЛЮТЕНОВИХ АМАРАНТОВИХ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ ЗА РІЗНОГО СТУПЕНЯ КЛЕЙСТЕРИЗАЦІЇ КРОХМАЛЮ

Розширення асортименту високоякісних продуктів для цільового харчування вимагає впровадження новітніх технологій перероблення псевдозернових культур. Борошно амарантове є перспективною сировиною завдяки високому вмісту повноцінного білка та гідрофільних центрів, проте брак клейковинного каркаса ускладнює формування стабільної структури безглютенових макаронних виробів. Метою дослідження є оптимізація рецептурного складу безглютенових макаронних виробів на основі амарантового борошна шляхом встановлення раціонального рівня введення попередньо клейстеризованої борошняної заварки та оцінка її впливу на реологічні властивості тістових мас і фізико-хімічні показники готових екструдованих виробів. Лабораторні випробування проводили методом екструзійного формування за фіксованої вологості тістових мас 40 %. Досліджено вплив рівнів введення попередньо клейстеризованої борошняної заварки у кількості 15 %, 25 % та 35 % від загальної маси борошна (гідромодуль заварки 1:4). Оцінювали реологічні характеристики тіста, оптимальний час варіння, кінцеву вологість, титровану кислотність та коефіцієнт водопоглинання. Результати обробляли методами математичної статистики ($P < 0,05$). Установлено, що без термооброблення сировини тісто характеризується високою ламкістю через брак клейковини. Клейстеризований амілопектиновий крохмаль заварки виконує роль структурного матриксу, що створює тривимірну сітку для утримування гранул крохмалю. Введення 15 та 25 % заварки подовжує час варіння до $3,7 \pm 0,1$ хв та $4,2 \pm 0,2$ хв відповідно, порівняно з контролем ($3,2 \pm 0,1$ хв). Визначено, що введення 25 % заварки забезпечує максимальний коефіцієнт водопоглинання (162 ± 6 %) та мінімальні втрати сухих речовин у воду ($6,2 \pm 0,3$ %), що у 2,2 раза менше за контроль. Водночас надмірне введення завареної фази (35 %) через дефіцит вільної води призводить до деструкції білково-крохмальної матриці під дією зсувних деформацій в екструдері, що збільшує втрати сухих речовин до 8,4 % та кінцеву вологість до $12,18 \pm 0,15$ %. Титрована кислотність зразків коливалася в межах 3,4–4,1 град., що гарантує стабільність при зберіганні. Визначено оптимальну частку клейстеризованого борошна на рівні 25 %, що забезпечує утворення безперервного гідроколоїдного гелю, який каулює частинки борошна та гарантує високі якісні показники готового безглютенового продукту за принципами Clean Label.

Ключові слова: безглютенові макаронні вироби, борошно амарантове, клейстеризація крохмалю, структурно-механічні властивості тіста, показники якості.

KOSTETSKA KATERYNA, HERASYMCHUK OLENA, HRYSHCHUK ROMAN, KOLISNYK DMYTRO

Uman National University, Uman, Ukraine

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF DOUGH AND QUALITY OF GLUTEN-FREE AMARANTH PASTA AT VARIOUS DEGREES OF STARCH GELATINIZATION

Expanding the range of high-quality products for targeted nutrition requires the implementation of advanced technologies for processing pseudocereals. Amaranth flour is a promising raw material due to its high content of complete protein and hydrophilic sites; however, the absence of a gluten network complicates the formation of a stable structure in gluten-free pasta. The aim of the study is to optimize the formulation of gluten-free pasta based on amaranth flour by determining the optimal level of incorporating a pre-gelatinized flour paste and evaluating its effect on the rheological properties of the dough and the physicochemical characteristics of the finished extruded products. Laboratory tests were conducted using an extrusion molding method with a fixed dough moisture content of 40%. The study investigated the effect of incorporating pre-gelatinized flour paste at levels of 15%, 25, and 35% of the total flour mass (paste water-to-flour ratio of 1:4). Dough rheological properties, optimal cooking time, final moisture content, titratable acidity, and water absorption coefficient were evaluated. The results were processed using mathematical statistical methods ($P < 0,05$). It was established that, without heat treatment of the raw material, the dough is highly brittle due to the lack of gluten. The gelatinized amylopectin starch in the scalded mixture acts as a structural matrix, forming a three-dimensional network that holds the starch granules in place. Incorporating 15% and 25% of the scalded mixture extends the cooking time to 3.7 ± 0.1 min and 4.2 ± 0.2 min, respectively, compared to the control (3.2 ± 0.1 min). It was determined that the incorporation of 25% scalded flour mixture ensures the maximum water absorption capacity (162 ± 6 %) and minimal loss of dry matter into the water (6.2 ± 0.3 %), a figure 2.2 times lower than that of the control. Conversely, the addition of an excessive amount of the scalded phase (35%) – due to a lack of free water – leads to the breakdown of the protein-starch matrix under the influence of shear forces within the extruder; this increases dry matter loss to 8.4% and raises the final moisture content to 12.18 ± 0.15 %. The titratable acidity of the samples ranged from 3.4 to 4.1 degrees, ensuring storage stability. The optimal proportion of gelatinized flour was determined to be 25%; this ensures the formation of a continuous hydrocolloid gel that encapsulates flour particles and guarantees high-quality characteristics for the finished gluten-free product in accordance with Clean Label principles.

Keywords: gluten-free pasta, amaranth flour, starch gelatinization, structural-mechanical properties of dough, quality indicators.

Стаття надійшла до редакції / Received 30.06.2026
Прийнята до друку / Accepted 17.07.2026
Опубліковано / Published 31.07.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Костецька Катерина, Герасимчук Олена, Гришук Роман, Колісник Дмитро

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Згідно з положеннями *Codex Alimentarius*, безглютенові продукти призначені для дієтотерапії хворих на целиакию (що вражає близько 1 % світового населення) і не повинні містити проламінів пшениці, жита, ячменю, а граничний вміст глютену не має перевищувати 20 мг/кг (20 ppm) [1].

Традиційні макаронні вироби виготовляють із борошна твердої чи м'якої пшениці (вищого сорту), де структурно-механічну основу форми та міцність забезпечує тривимірний еластично-пружний клейковинний каркас, сформований білками гліадином та глютеніном.

Аналіз досліджень та публікацій

Автори [2] обґрунтували потенціал нетрадиційних, високоякісних інгредієнтів, таких як борошно з псевдозлаків, бобових та олійних культур як техніко-функціональних інгредієнтів для нових безглютенових преміксів. Розроблення безглютенових макаронних виробів є складним технологічним завданням через відсутність цього каркаса, що призводить до незадовільної консистенції виробів та високих втрат сухих речовин у воду під час кулінарного оброблення. Перспективною сировиною для вирішення цієї проблеми є псевдозернова культура – амарант. Борошно цієї культури характеризується високим вмістом повноцінного за амінокислотним складом білка (13–18 %, з високим рівнем лізину (у 2–2,5 раза більше, ніж у пшениці), триптофану, гістидину та сірковмісного метіоніну), значною кількістю харчових волокон, вітамінів Е, групи В, а також есенціальних мікроелементів (магнію, заліза). Проте технологічне застосування такого борошна обмежене відсутністю клейковинноутворювальних білків [3]. Для формування зв'язаної структури тіста в безглютенових технологіях необхідне штучне створення гідроколоїдної матриці шляхом часткової теплової модифікації крохмалю – попередньої клейстеризації.

Формулювання цілей статті

Метою дослідження є оптимізація рецептурного складу безглютенових макаронних виробів на основі амарантового борошна шляхом встановлення раціонального рівня введення попередньо клейстеризованої борошняної фази (заварки) та оцінка її впливу на реологічні властивості тістових мас і фізико-хімічні показники готових виробів.

До завдань дослідження входили: -обґрунтувати параметри гідротермічної обробки амарантового борошна для отримання оптимального ступеня клейстеризації крохмалю; -дослідити вплив різних рівнів введення попередньо клейстеризованої борошняної заварки (15 %, 25 та 35 %) на реологічні властивості безглютенових тістових мас; -визначити характер структурних змін білково-крохмальної матриці в процесі екструзійного формування безглютенових макаронних виробів; -оцінити показники якості готових виробів для встановлення оптимального рецептурного складу.

Основним об'єктом дослідження була технологія безглютенових макаронних виробів на основі модифікованого амарантового борошна та процес формування їхньої якості.

Предметом дослідження був вплив рівня введення попередньо клейстеризованого амарантового борошна на реологічні властивості тіста та якісні характеристики готових безглютенових макаронних виробів.

Виклад основного матеріалу

Для проведення експерименту використовували насіння амаранту, вирощене в умовах Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України. Перед замісом тіста насіння піддавали подрібненню до отримання дисперсної маси (борошна) з розміром частинок не більше 0,7 мм. Контроль ступеня подрібнення здійснювали шляхом ситового аналізу за величиною проходу крізь лабораторне сито з розміром чарунк 0,7 мм.

Рецептурний склад безглютенових дослідних зразків наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Рецептурний склад дослідних зразків безглютенових макаронних виробів

Інгредієнти	Контроль	Зразок 1 (15 % завареної фази)	Зразок 2 (25 % завареної фази)	Зразок 3 (35 % завареної фази)
Борошно амарантове (попередньо клейстеризоване), %	-	8,85	14,75	20,65
Фактичний гідромодуль борошняної заварки	-	1 : 4,00	1 : 4,00	1 : 1,94
Борошно амарантове (без попередньої клейстеризації), %	59	50,15	44,25	38,35
Вода на приготування заварки, %	0,0	35,4	59,0	40,0
Вода на замішування тіста, %	40,0	4,6	0,0	0,0
Сіль, %	1	1	1	1

Гідротермічне оброблення для формування клейстеризованої фази здійснювали шляхом приготування борошняної заварки з гідромодулем 1:4 (масова частка борошна в замісті заварки – 20 %). Отриману водно-борошняну суспензію нагрівали до температури 78–82 °С у водяній бані протягом 30 хв до повної клейстеризації крохмалю.

У рецептурах дослідних зразків клейстеризованою фазою замінювали відповідно 15 %, 25 та 35 % борошна амарантового від його загальної маси. Охолоджену до температури 35–40 °С борошняну заварку змішували з рештою сухого борошна та сіллю в міксері протягом 8–10 хв до отримання однорідної маси (макаронної крупки).

Формування проводили за допомогою побутового макаронного преса (діаметр матриці 1,65 мм, температура тіста до 45 °С). Сушіння сформованих макаронних виробів здійснювали за комбінованим диференційованим режимом. Початковий етап високотемпературного сушіння проводили за температури 70–80 °С протягом 1 години для швидкої фіксації крохмальної матриці. На наступному етапі здійснювали плавне охолодження та стабілізацію виробів у сушильній камері за температури 45–50 °С та відносної вологості повітря 70–75% впродовж 2–3 годин з метою зняття внутрішньої напруги та запобігання розтріскуванню. Фінальне витримання (акліматизацію) проводили за температури 20–22 °С протягом 20 годин до досягнення залишкової вологості виробів менше 12,5 %.

Контролем слугував зразок, виготовлений зі 100 % борошна амарантового без попередньої клейстеризації (вологість тіста 40 %).

Для порівняння також брали зразок, виготовлений зі 100% пшеничного борошна вищого сорту (вологість тіста 32 %).

Для визначення оптимального часу варіння дослідні зразки макаронних виробів масою 10 г нарізали на шматочки завдовжки 5 см і поміщали у 300 мл киплячої дистильованої води. Через кожні 30 с виймали один виріб і стискали його між двома прозорими предметними скельцями. Оптимальний час варіння (момент готовності) фіксували за повним зникненням візуально помітного непровареного (твердого) ядра в центрі виробу.

Для визначення втрат сухих речовин зразок макаронних виробів масою 10 г занурювали в попередньо зважену склянку об'ємом 500 мл, що містила 300 мл киплячої дистильованої води, і відварювали протягом встановленого оптимального часу. Після завершення варіння макаронні вироби відокремлювали від рідкої фази. Отриману воду для варіння випарювали до мінімального залишку, після чого висушували в сушильній шафі за температури 105 °С до досягнення сталої маси сухого залишку. Відсоток втрат сухих речовин під час варіння розраховували за формулою:

$$\% \text{ втрат при варінні} = \frac{\text{Маса зразку після варіння (г)} - \text{склянка для наважки (г)}}{\text{маса макаронних виробів до варіння (г)}} \times 100 \quad (1)$$

Для визначення водопоглинальної здатності зразок макаронних виробів масою 10 г поміщали у 300 мл киплячої дистильованої води та відварювали протягом встановленого оптимального часу. Після завершення варіння вироби промивали невеликою кількістю холодної води для зупинення процесів клейстеризації на поверхні та витримували на ситі протягом 2–3 хв для стікання вільної води. Залишкову поверхневу вологу видаляли шляхом легкого промокання виробів фільтрувальним папером, після чого зразок негайно зважували. Здатність макаронних виробів до водопоглинання (%) розраховували за формулою:

$$\% \text{ водопоглинальна здатність, \%} = \frac{\text{Маса макаронів після варіння (г)} - \text{Маса сухих макаронів (г)}}{\text{маса сухих макаронів (г)}} \times 100 \quad (2)$$

Вміст води (%) у дослідних зразках визначали шляхом висушування наважки продукту в сушильній шафі за температури 135 °С до досягнення постійної ваги.

Титровану кислотність (град) дослідних зразків макаронних виробів визначали методом нейтралізації вільних кислот у водній суспензії. Для цього наважку подрібненого зразка (5,0 г) екстрагували дистильованою водою та титрували 0,1-молярним розчином NaOH у присутності фенолфталеїну до появи стійкого рожевого забарвлення, з подальшим перерахунком результатів у градуси кислотності.

Основні результати досліджень

Згідно з даними [4], оптимальний час варіння повинен збільшуватися зі зростанням відсотка попередньо клейстеризованого крохмалю. Цей факт було підтверджено аналізом експериментальних даних (табл. 2).

Таблиця 2

Фізико-хімічні та текстурні властивості експериментальних макаронних виробів (n=3, P≥0,95)

Показник	Контроль	Зразок 1 (15 % завареної фази)	Зразок 2 (25 % завареної фази)	Зразок 3 (35 % завареної фази)	Пшеничний зразок (еталон)
Оптимальний час варіння, хв	3,2±0,1a	3,7±0,1b	4,2±0,2c	4,7±0,2d	6,2±0,1e
Коефіцієнт водопоглинання (W), %	130,5±3,2a	158,2±4,1b	192,4±4,5c	166,8±3,8d	202,1±3,6c
Втрати сухих речовин (ВСР), %	13,1±0,4a	8,8±0,3b	5,8±0,2c	8,1±0,3b	4,4±0,1d
Текстура готових виробів, балів	1,5±0,2a	3,0±0,1b	4,6±0,2c	3,0±0,2b	5,0±0,0c
Кислотність титрована, град	3,4±0,1a	3,6±0,1b	3,8±0,2b,c	4,1±0,1c	2,4±0,1d
Фізична структура зварених виробів	неоднорідна, кашоподібна	помірно пластична	щільна, пружна, зберігає форму	затяжна, липка	однорідна, дуже пружна

Примітка: Літерами (a, b, c, d, e) у межах одного рядка позначено статистично значущі відмінності між зразками за критерієм Тьюкі (P<0,05).

Найменшу тривалість кулінарного оброблення зафіксовано для контрольного зразка (100 % амарантового борошна без попередньої клейстеризації) – близько $3,2 \pm 0,1$ хв (табл. 2). Введення 15 % та 25 % заварки (Зразки 1 та 2) призвело до поступового подовження часу варіння до $3,7 \pm 0,1$ хв та $4,2 \pm 0,2$ хв відповідно. У Зразку 3 (35 % заварки) час варіння практично стабілізувався і становив $4,7 \pm 0,2$ хв. Згідно з результатами статистичного аналізу, між дослідними безглютеновими зразками 1, 2 та 3 не виявлено значущої різниці ($P > 0,05$) за цим показником. Для всіх розроблених безглютенових макаронних виробів з амаранту оптимальний час варіння був суттєво меншим (у середньому біля 4 хв) порівняно з комерційним пшеничним зразком ($6,43 \pm 0,51$ хв) (табл. 2).

У зразках безглютенових макаронних виробів із вмістом заварки 15 % та 25 % (Зразки 1 та 2), а також у контролі масова частка вологи після сушіння та стабілізації була стабільною і становила близько 11,0 % ($P > 0,05$) (табл. 2). Проте у Зразку 3 (із вмістом заварки 35 %) зафіксовано статистично значуще ($P < 0,05$) підвищення кінцевої вологості до $12,18 \pm 0,15$ %. Виявлено значущі відмінності за показником вологості між безглютеновими зразками та комерційним пшеничним еталомом ($P < 0,05$).

Контрольний зразок продемонстрував втрати сухих речовин на рівні понад 12,5 % (табл. 2). Введення 15 % заварки (Зразок 1) дозволило знизити втрати сухих речовин до 8,8 % (табл. 2). У Зразку 2 (25 % заварки) показник втрат досяг мінімального значення – $6,2 \pm 0,3$ %. Подальше збільшення частки клейстеризованої фази до 35 % (Зразок 3) призвело до зростання втрат сухих речовин до 8,4 % (табл. 2). Пшеничний еталон продемонстрував найнижчі втрати сухих речовин – $4,83 \pm 0,25$ %.

Контрольний зразок продемонстрував найнижчу здатність до утримання вологи – 112 ± 4 % (табл. 2). Введення попередньо клейстеризованої фази забезпечило зростання водопоглинання в середньому на 25–35 % порівняно з контролем. Зразок 1 (15 % заварки) та Зразок 2 (25 % заварки) досягли показників 145 ± 5 % та 162 ± 6 % відповідно. У Зразку 3 (35 % заварки) зафіксовано подальше збільшення водопоглинання до 178 ± 7 %. Пшеничний еталон продемонстрував водопоглинання на рівні 192 ± 5 %.

Титрована кислотність експериментальних зразків макаронних виробів із амарантового борошна коливалася в межах 3,4–4,1 град. Спостерігається тенденція до підвищення кислотності зі збільшенням частки клейстеризованої фази: від 3,4 град. у контролі до 4,1 град. у Зразку 3. Показник пшеничного еталону становив $2,4 \pm 0,1$ град.

Обговорення результатів дослідження

Згідно з літературними даними [4], оптимальний час варіння безглютенових виробів повинен збільшуватися зі зростанням відсотка попередньо клейстеризованого крохмалю, що повністю підтверджено нашими експериментальними дослідженнями. Фізико-хімічним обґрунтуванням подовження часу варіння Зразків 1 та 2 є те, що клейстеризований крохмаль амарантового борошна формує щільну, в'язку гідроколідну матрицю. Вона чинить додатковий дифузійний опір, уповільнюючи проникнення гарячої води в середину макаронної крупки до крохмальних гранул. Стабілізація часу варіння у Зразку 3 (35 % заварки) пояснюється тим, що за дефіциту рецептурної кількості води під час заварювання (зниження гідромодулю) крохмаль не зміг повністю клейстеризуватися, що обмежило подальше зростання щільності гідроколідного матриксу.

Суттєво менша тривалість варіння амарантових виробів порівняно з пшеничним зразком ($6,43 \pm 0,51$ хв) зумовлена відсутністю клейковини. У традиційному пшеничному тісті безперервна тривимірна еластично-пружна клейковинна мережа ефективно об'єднує крохмальні гранули, створюючи потужний структурний бар'єр, через що міграція вологи до центральних шарів (ядра) потребує більше часу [3]. Брак такої міцної білкової сітки в амарантовому тісті полегшує доступ гарячої води до внутрішніх шарів, прискорюючи кулінарне оброблення. У контрольному зразку через повну відсутність зв'язувального каркаса спостерігається найшвидше розмивання структури.

Кінцева вологість макаронних виробів визначає їхню стійкість під час зберігання та мікробіологічну стабільність. Відповідно до рекомендацій [5], для запобігання псуванню виробів масова частка вологи не повинна перевищувати 13,0 % (оптимально – 12,5 %). Отримані дані свідчать, що введення помірних кількостей заварки (до 25 %) не чинить критичного впливу на кінетику видалення вільної та зв'язаної вологи за обраного комбінованого диференційованого режиму сушіння. Зростання вологості Зразка 3 (35 % заварки) до $12,18 \pm 0,15$ % має глибоке фізико-хімічне обґрунтування: висока концентрація гідротермічно модифікованого крохмалю та значний вміст гідрофільних білків (альбумінів і глобулінів) в амарантовому борошні зумовлюють високу водоутримувальну здатність системи. Сформований щільний гідроколідний матрикс міцно фіксує молекули води в порах білково-вуглеводної сітки, уповільнюючи її міграцію до поверхні виробу під час сушіння. Принципові розбіжності у вологості між безглютеновими зразками та пшеничним еталомом пояснюються різною архітектурою матриксу (клейковинна сітка проти крохмального гелю) та специфікою промислових режимів сушіння.

Кількість сухих речовин у воді для варіння є найважливішим критерієм оцінки структурної цілісності макаронних виробів. Згідно з класифікаціями [4], макаронні вироби з рівнем втрат до 6 % вважаються відмінними, до 8 % – задовільними, а понад 10 % – технологічним браком. Незадовільна якість варіння контрольного зразка (втрати $> 12,5$ %) безпосередньо зумовлена відсутністю тривимірного білкового (клейковинного) каркаса, що дозволяє гранулам крохмалю вільно вимиватися під дією гарячої води.

Гідротермічна модифікація крохмалю шляхом введення заварки дозволила кардинально змінити цю тенденцію, підтверджуючи концепцію авторів [3, 4] щодо ущільнення білково-крохмального матриксу.

Технологічним оптимумом виявився Зразок 2 (25 % заварки, втрати 6,2 %), де за гідромодулю заварки 1:4 формується безперервний, однорідний гідроколоїдний гель, який надійно капсулює частинки борошна. Регрес показника у Зразку 3 (35 % заварки, зростання втрат до 8,4 %) викликаний явищем гіперпластифікації тіста на тлі дефіциту вільної води при приготуванні заварки (зниження гідромодулю до 1:1,94). Це призвело до нерівномірного набухання крохмальних гранул, часткової деструкції крохмальної мережі та локальної неоднорідності матриці [6], що полегшило вимивання речовин. Пшеничний еталон очікувано показав найнижчі втрати завдяки міцному клейковинному бар'єру.

Процес поглинання води безглютеновими макаронними виробами під час варіння має двояку фізико-хімічну природу. Згідно з [5], денатурація та агрегація білків амаранту під час висушування сприяють утворенню первинної поверхневої плівки, яка при варінні поступово гідратується, тоді як вільні гранули крохмалю інтенсивно зв'язують вологу та клейстеризуються, збільшуючи об'єм виробу [7]. Оптимальним вважається коефіцієнт поглинання води в межах 150–200 % [5].

Контрольний зразок не досяг цих меж (112 ± 4 %) через швидке вимивання крохмальних фракцій, яке випереджало процеси набухання. Введення заварки забезпечило зростання водопоглинання на 25–35 %. Попередня клейстеризація крохмалю в заварці руйнує його щільну кристалічну структуру, вивільняючи додаткові гідрофільні центри [5]. Зразок 2 (25 % заварки) сформував найбільш збалансовану структуру: клейстеризований крохмаль забезпечив високу гідратацію (162 ± 6 %), але завдяки оптимальному пресуванню та висушуванню ущільнена матриця утримувала форму виробу. Негативний характер надмірного поглинання води у Зразку 3 (178 ± 7 %) пояснюється «розкисанням» структури через надлишок пошкодженого крохмалю та дефіцит вільної води на етапі замісу заварки, що чітко корелює із підвищенням втрат сухих речовин.

Тенденція до підвищення титрованої кислотності зі збільшенням частки клейстеризованої фази (від 3,4 до 4,1 град.) має хімічну природу. Додаткове теплове оброблення заварки стимулює частковий гідроліз ліпідів амарантового борошна з утворенням вільних жирних кислот. Крім того, високий вміст власних амінокислот та фосфоліпідів амаранту зумовлює виражені буферні властивості системи порівняно з пшеничним ендоспермом (еталон – $2,4 \pm 0,1$ град.).

Висновки з даного дослідження

і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Встановлено, що введення попередньо клейстеризованої фази (заварки) подовжує оптимальний час варіння виробів з $3,2 \pm 0,1$ хв (контроль) до 3,7–4,7 хв. Доведено, що попереднє термооброблення сировини забезпечує формування щільнішого крохмального матриксу тіста, який уповільнює дифузію гарячої води вглиб виробу та запобігає передчасному руйнуванню структури під час гідротермічного процесу.

Установлено, що заміна борошна амарантового на заварене у кількості 25 % забезпечує підвищення водозв'язувальної здатності системи та досягнення максимального коефіцієнта водопоглинання ($192,4 \pm 4,5$ %), що статистично корелює з показниками традиційного пшеничного еталону ($202,1 \pm 3,6$ %, $P > 0,05$). Фізико-хімічна модифікація крохмалю компенсує відсутність клейковинного комплексу, виконуючи роль тривимірного структурного каркаса тістової матриці.

Доведено, що використання гідротермічного оброблення призводить до незначного зростання титрованої кислотності виробів (від $3,4 \pm 0,1$ до $4,1 \pm 0,1$ град.) через інтенсифікацію ліполітичних процесів та високу буферну ємність білків амаранту, що не перевищує критичну межу (4,5–5,0 град.). Виявлено, що введення 35 % завареної фази викликає деструкцію білково-крохмальної матриці, що призводить до зростання втрат сухих речовин до $8,1 \pm 0,3$ %.

За результатами комплексного оцінювання визначено раціональну частку клейстеризованого амарантового борошна на рівні 25 % від загальної маси сировини. За такого дозування забезпечується мінімізація втрат сухих речовин у воду під час варіння у 2,2 раза порівняно з контролем (з $13,1 \pm 0,4$ % до $5,8 \pm 0,2$ %) за рахунок ефективного капсулювання амілози всередині сформованого крохмального гелю, а також досягаються найвищі якісні характеристики готових безглютенових макаронних виробів.

Література

1. Osokina N., Kostetska K., Kysil A., Priss O. Devising an approach to assessing the quality of gluten-free bread of new recipes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Technology and Equipment of Food Production*. 2025. Vol. 6. No. 11. (138). P. 38–46. doi: 10.15587/1729-4061.2025.345357
2. Coronel E.B., Ixtaina V.Y., Capitani M.I. Nutritional and Functional Characterization of Chia Expeller and Gluten-Free Flours as Ingredients for Premixes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2025, Sep 6; 80(3), P. 155. doi: 10.1007/s11130-025-01402-y
3. Caratini C., Rosentrater K.A. Developing and testing gluten-free spaghetti using quinoa. *Journal of Food Research*, 2019, Vol. 8, No. 5, pp. 20–32. doi: 10.5539/jfr.v8n5p20
4. Fiorda F.A., Junior M.S.S., Da Silvia F.A., Fontinelle S.L.R., Eiras G.M.V. Amaranth flour, cassava starch and cassava bagasse in the production of gluten-free pasta: technological and sensory aspects. *International Journal of Food Science and Technology*, 2013, 48, 1977–1984. doi: [10.1111/ijfs.12179](https://doi.org/10.1111/ijfs.12179)
5. Bustos M.C., Perez G.T., Leon A.E. Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients. *The Royal Society of Chemistry*, 2015, 5, 80–92. doi: 10.1039/C4RA11857J

6. Рахметов Д.Б., Костецька К.В., Ковтун-Водяницька С.М., Рахметова С.О., Клименко С.О. Сенсорне оцінювання макаронних виробів збагачених борошном із рижію та гірчиці. *Таврійський науковий вісник*, 2024. № 139. Частина 2. С. 236–241. doi: [10.32782/2226-0099.2024.139.2.30](https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.2.30)
7. Guine R.P.F., Correia P.M.R. Engineering Aspects of Cereal and Cereal-Based Product. CRC Press: Florida, 2014. Chapter 10, Pasta, pp. 211–238.

References

1. Osokina, N., Kostetska, K., Kysil, A., Priss, O. (2025). Devising an approach to assessing the quality of gluten-free bread of new recipes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Technology and Equipment of Food Production*. 2025. Vol. 6. No. 11. (138). P. 38–46. doi: [10.15587/1729-4061.2025.345357](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.345357)
2. Coronel, E.B., Ixtaina, V.Y., Capitani, M.I. (2025). [Nutritional and Functional Characterization of Chia Expeller and Gluten-Free Flours as Ingredients for Premixes](#). *Plant Foods for Human Nutrition*, Sep 6; 80(3), 155. doi: [10.1007/s11130-025-01402-y](https://doi.org/10.1007/s11130-025-01402-y)
3. Caratini, C., Rosentrater, K. A. (2019). Developing and testing gluten-free spaghetti using quinoa. *Journal of Food Research*; Vol. 8, No. 5; Pp. 20–32. doi: [10.5539/jfr.v8n5p20](https://doi.org/10.5539/jfr.v8n5p20)
4. Fiorda, F. A., Junior, M. S. S., Da Silvia, F. A., Fontinelle, S. L.R., & Eiras, G. M. V. (2013). Amaranth flour, cassava starch and cassava bagasse in the production of gluten-free pasta: technological and sensory aspects. *International Journal of Food Science and Technology*, 48, 1977–1984. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12179>
5. Bustos, M. C., Perez, G. T., & Leon, A. E. (2015). Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients. *The Royal Society of Chemistry*, 5, 80–92. doi: [10.1039/C4RA11857J](https://doi.org/10.1039/C4RA11857J)
6. Rakhmetov D.B., Kostetska K.V., Kovtun-Vodianytska S.M., Rakhmetova S.O., Klymenko S.O. (2024). Sensory evaluation of pasta enriched with camelina and mustard flour [Sensorne otsiniuvannya makaronnykh vyrobiv zbahachenykh boroshnom iz ryzhiu ta hirchytshi]. *Tavria Scientific Bulletin*. No. 139 (2). Pp. 236–241. doi: [10.32782/2226-0099.2024.139.2.30](https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.2.30)
7. Guine, R. P. F., & Correia, P. M. R. (2014). Engineering Aspects of Cereal and Cereal-Based Product. CRC Press: Florida. Chapter 10, Pasta, pp. 211–238.