

СИНЕРГЕТИЧНИЙ ЕФЕКТ ЕКСТРУЗІЇ ТА ОВОЧЕВИХ ДОБАВОК: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗМІНИ В'ЯЗКОСТІ КЛЕЙСТЕРІВ ПШЕНИЦІ, КУКУРУДЗИ ТА ЯЧМЕНЮ

I.M. Фоміна, Т.В. Гавриш, К.С. Маліков

Проведено порівняльний аналіз зміни в'язкості клейстерів екструдатів з пшениці, кукурудзи та ячменю, збагачених морквою та буряком. Показано, що овочеві компоненти по-різному впливають на реологічні властивості залежно від зернової основи. Додавання буряку до ячменю викликало різке зниження в'язкості, що свідчить про інтенсивну деструкцію.

Ключові слова: екструзія, крохмаль, деструкція, в'язкість, пшениця, кукурудза, ячмінь, овочеві добавки, морква, буряк.

SYNERGISTIC EFFECT OF EXTRUSION AND VEGETABLE ADDITIVES: A COMPARATIVE ANALYSIS OF VISCOSITY CHANGES IN WHEAT, CORN, AND BARLEY PASTES

I. Fomina, T. Gavrish, K. Malikov

The modern food industry shows a growing demand for functional extruded products enriched with natural ingredients. However, the interactions within multi-component systems, such as grain-vegetable blends, during extrusion are complex and not fully understood. The purpose of this study was to conduct a comparative analysis of the effects of extrusion processing and the addition of carrot and beet on the rheological properties (kinematic viscosity) of pastes derived from wheat, corn, and barley, in order to identify these synergistic effects.

Methods. Three types of grain (wheat, corn, barley) and their blends with fresh carrot or beet puree (5% w/w) were processed using a single-screw extruder under constant thermomechanical conditions. To evaluate the changes in starch properties, aqueous suspensions of the ground extrudates were prepared. The kinematic viscosity of the resulting filtrates was measured at a controlled temperature using a capillary viscometer and compared with the viscosity of pastes from native grains.

Results. Extrusion processing significantly increased the kinematic viscosity of aqueous filtrates for all grain samples compared to their native counterparts, with the most pronounced effect observed for barley. The addition of vegetable components had a varied, grain-dependent effect. Carrot addition consistently caused a slight increase in viscosity for all cereals, which is attributed to the thickening effect of soluble pectins. In contrast, beet addition showed a complex behavior: it had a

negligible effect on wheat paste viscosity, slightly increased it for corn, but caused a dramatic decrease for the barley-based extrudate.

Conclusion. The study demonstrates that the impact of vegetable additives on the rheological properties of extruded products is highly dependent on the specific grain matrix. The results reveal a strong synergistic effect between the sucrose-rich beet and the unique polysaccharide system of barley. It is concluded that sucrose acted as an effective plasticizer, intensifying the thermomechanical degradation of barley polymers during extrusion, which led to a significant reduction in paste viscosity. These findings highlight the importance of selecting specific grain and vegetable combinations to control the final product's rheological properties and texture.

Keywords: *extrusion, starch, destruction, viscosity, wheat, corn, barley, vegetable additives, carrot, beet*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Сучасний ринок харчових продуктів та кормів характеризується зростаючим попитом на продукцію з покращеними функціональними властивостями, підвищеною харчовою цінністю та "чистою етикеткою". Екструзійна обробка зернової сировини є одним із основних методів, що дозволяє задовольнити ці запити, створюючи широкий асортимент продуктів – від сухих сніданків до високозасвоєваних кормів. В основі цього процесу лежить глибока термомеханічна модифікація біополімерів, насамперед крохмалю, що призводить до зміни його структури та реологічних властивостей, зокрема в'язкості. Саме в'язкість є одним з найважливіших показників, що визначає структуру, стабільність та органолептичні характеристики багатьох харчових систем.

Водночас, актуальним напрямком у розробці продуктів здорового харчування є збагачення зернових екструдатів натуральними рослинними компонентами, такими як овочі, що є джерелами біологічно активних речовин, вітамінів та харчових волокон. Однак, введення таких багатоконпонентних сумішей у процес екструзії значно ускладнює прогнозування властивостей готового продукту. Компоненти овочів – прості цукри, пектини, клітковина – активно взаємодіють із зерновими біополімерами, які впливають на умови тепло- та масопереносу, що пластифікує розплав та конкурує за вологу. Це призводить до виникнення синергетичних або антагоністичних ефектів, які не можна передбачити, розглядаючи вплив кожного компонента окремо.

Таким чином, виникає науково-практична проблема: відсутність систематичних даних та науково обґрунтованих закономірностей, що описують комплексний вплив типу зернової сировини (пшениця, кукурудза, ячмінь) та виду овочевої добавки (на прикладі моркви та

буряку) на реологічні властивості екструдованих систем. Існуючі дослідження здебільшого зосереджені на монокомпонентних системах, тоді як реальні технології все частіше використовують складні рецептури. Вирішення цієї проблеми шляхом проведення порівняльного аналізу дозволить зрозуміти механізми взаємодії компонентів у процесі екструзії та є важливим науковим завданням, що відкриває шлях до цілеспрямованого керування якістю та створення інноваційних зерно-овочевих продуктів із заданими властивостями.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз сучасної наукової літератури свідчить про значний інтерес дослідників до процесу екструзійної обробки як інструменту для модифікації властивостей крохмалевмісної сировини. Більшість фундаментальних досліджень зосереджені на вивченні впливу технологічних параметрів (температури, вологості, швидкості обертання шнека) на монокомпонентні системи, переважно на крохмалі або борошні кукурудзи та пшениці. Встановлено, що підвищення температури та зниження вологості сировини зазвичай призводять до інтенсифікації процесів желатинізації та декстринізації крохмалю, що виражається у зростанні індексу розчинності у воді (WSI) та зниженні пікової в'язкості клейстерів. Ці роботи сформували міцне теоретичне підґрунтя для розуміння основних перетворень, що відбуваються з крохмалем в екструдері.

В останні роки вектор досліджень змістився в бік вивчення більш складних, багатокомпонентних систем, зокрема, впливу некрохмальних інгредієнтів на процес екструзії. Значна увага приділяється збагаченню зернових екструдатів харчовими волокнами, наприклад, шляхом додавання фруктових та овочевих вичавок або висівків. Встановлено, що нерозчинні волокна клітковини зазвичай діють як "руйнівники" безперервної крохмальної матриці, конкурують за воду, що обмежує набухання крохмалю, і, як наслідок, призводять до отримання більш щільних, менш експандованих продуктів. Розчинні ж волокна (пектини, камеді) можуть, навпаки, підвищувати в'язкість розплаву та впливати на його реологічні властивості. Окремо досліджується вплив простих цукрів (сахарози, глюкози), які діють як пластифікатори, знижуючи температуру склування та в'язкість системи всередині екструдера, що також впливає на ступінь експансії та інтенсивність деструкції крохмалю [3].

Незважаючи на значну кількість публікацій, можна виділити кілька недостатньо вивчених аспектів. По-перше, більшість досліджень проводять на одному виді зернової сировини (найчастіше зерна

кукурудзі), тоді як бракує порівняльних робіт, які б в однакових умовах аналізували поведінку крохмалю з різним ботанічним походженням та, відповідно, різною нативною структурою та властивостями. Особливо це стосується ячменю, крохмаль якого існує в комплексі з β -глюканами, поведінка яких під час екструзії в присутності інших компонентів вивчена недостатньо. По-друге, роботи з овочевими добавками часто оцінюють лише кінцеві властивості продукту (вміст клітковини, колір, хрупкість), але не фокусуються на глибокому аналізі зміни саме реологічних властивостей крохмальної складової. Таким чином, залишається відкритою проблема розуміння синергетичних ефектів у складних системах "зерно-овочі", де одночасно присутні і клітковина, і прості цукри. Відсутність таких комплексних порівняльних досліджень ускладнює науково обґрунтований вибір сировини та прогнозування властивостей інноваційних багатокомпонентних екструдованих продуктів.

Мета статті є встановлення закономірностей зміни реологічних властивостей (на прикладі кінематичної в'язкості клейстерів) крохмалевмісних систем на основі пшениці, кукурудзи та ячменю під комбінованим впливом екструзії та овочевих збагачувачів (моркви, буряку).

Матеріали та методи. Для порівняльної оцінки глибини структурних змін, що відбуваються з крохмалем під час екструзії, можливе використання капілярної віскозиметрії за умови суворої стандартизації умов експерименту. Розуміючи, що крохмальні клейстери є ньютонівськими рідинами, і капілярний віскозиметр (наприклад, ВПЖ) не вимірює істинну динамічну в'язкість, отримані дані (час витікання) можна розглядати не як абсолютну фізичну величину, а як умовний емпіричний показник, що характеризує гідродинамічний опір розчину. При дотриманні однакових умов вимірювання, цей показник дозволяє проводити порівняльний аналіз зразків, отриманих при різних режимах екструзії [5, 6, 7].

Для отримання достовірних та відтворюваних результатів при використанні капілярного віскозиметра необхідно звернути особливу увагу на стабілізацію та уніфікацію наступних параметрів.

Концентрація суспензії це найважливіший параметр. Необхідно експериментально підібрати таку концентрацію розчину екструдату, при якій час витікання буде знаходитися в рекомендованому для даного типу віскозиметра діапазоні (зазвичай, не менше 100-200 секунд для мінімізації похибки) і при цьому суспензія залишатиметься стабільною

протягом часу вимірювання. Концентрація повинна бути абсолютно однаковою для всіх досліджуваних зразків.

Для встановлення необхідної концентрації сухих речовин в борошняній суспензії зразків екструдованої пшениці та нативного зерна було проведено дослідження часу витікання та на його підставі розраховано кінематичну в'язкість відфільтрованих і попередньо клейстеризованих розчинів крохмальної суспензії. Досліджувались зразки с концентраціє сухих речовин 1%, 5% та 10%.

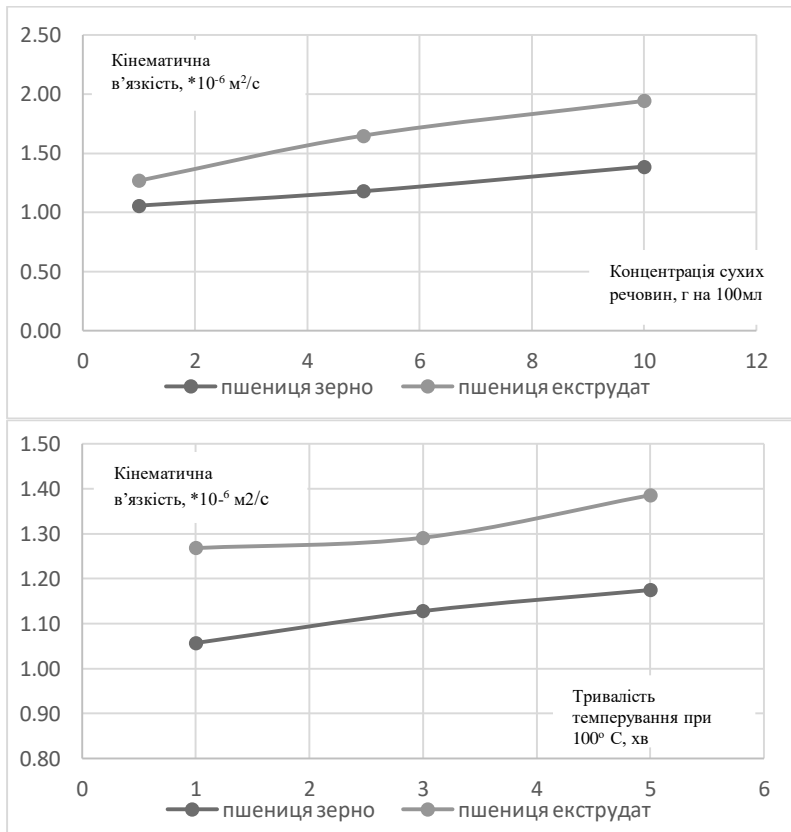


Рис. 1. Зміна кінематичної в'язкості фільтрату клейстеризованої суміші суспензії зерна пшениці та екструдованої пшениці

На підставі встановленого часу витікання фільтрату клейстеризованої суміші суспензії зерна пшениці та її екструдату розраховано кінематичну в'язкість. Відстежується збільшення кінематичної в'язкості на 31% під час збільшення концентрації наважки з 1% до 10% для фільтрату клейстерезованої зернової суспензії пшениці та на 53% для фільтрату клейстерезованої суспензії екструдату пшениці. Емпіричним шляхом було встановлено, що процес фільтрування клейстеризованих суспензій як зерна так і екструдату дуже сповільнюється при високих концентраціях наважки сухої речовини, тому було прийнято рішення в подальшому дослідження проводити із застосуванням 1% суспензії. Таким чином, в наступних дослідженнях всі зразки готовились однаково: 1г сухої речовини зерна або екструдату заливались окропом до досягнення маси суспензії 100г.

Метод та тривалість диспергування та клейстеризації зразків у воді мають бути строго однаковими для всіх проб. Для цього провели дослідження часу темперування підготовленої суспензії на водній лазні у киплячому стані. Час темперування коливався від 1 хвилини до 5 хвилин, при цьому кінематична в'язкість збільшувалась на $10 \pm 1\%$. Тривале темперування призводило до збільшення кінематичної в'язкості та до ускладнення фільтрування. Тому для дослідження обрано темперування підготовленої суспензії на водній лазні у кип'ятіння забезпечує максимальну клейстеризацію нативного крохмалю, який присутній у зразках подрібненого зерна. Після темперування терміново охолоджували у холодній воді до 20°C .

Наступна операція – фільтрація, яку проводили через фільтрувальний папір. Оскільки фільтрація може видалити частину набухлих, проте нерозчинених полімерів, що вплине на результат, для порівняльного аналізу головним є однаковість проведення цієї стадії.

Після приготування та фільтрації розчин слід витримати протягом однакового, строго фіксованого часу для стабілізації структури перед вимірюванням. У даному дослідженні тривалість витримання становила протягом 30 хвилин. Оскільки в'язкість крохмальних клейстерів дуже чутлива до температури, вимірювання проводили при $20 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Для отримання результатів проводили не менше 3-5 паралельних вимірювань для кожного зразка та розрахунок середнього значення. Висока відтворюваність результатів (коливання в межах долей секунди при часі витікання більше 2 хвилин) є індикатором того, що умови експерименту стабілізовані успішно.

Таким чином, незважаючи на те, що капілярна віскозиметрія не дозволяє визначити істинні реологічні характеристики ньютонівських крохмальних клейстерів, при суворій стандартизації всіх умов підготовки та вимірювання зразків, цей метод може бути успішно використаний як інструмент для порівняльної оцінки ступеня деструкції крохмалю під впливом різних параметрів екструзійної обробки. Висока відтворюваність отриманих експериментальних даних підтверджує стабільність умов вимірювання та дозволяє використовувати час витікання як надійний емпіричний критерій для аналізу та оптимізації процесу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Крохмаль, як основний запасний полісахарид у зерні пшениці, ячменю та кукурудзи, має низку спільних рис у своїй хімічній будові, проте суттєво відрізняється за фізико-хімічними та технологічними властивостями залежно від ботанічного походження. Ці відмінності зумовлені розміром та формою крохмальних гранул, співвідношенням амілози та амілопектину, а також наявністю інших компонентів, таких як білки та ліпіди, що асоційовані з гранулами. Саме ці особливості визначають унікальний технологічний потенціал кожного виду крохмалю та сфери його найбільш ефективного застосування в харчовій промисловості.

Крохмаль пшениці характеризується бімодальним розподілом гранул за розміром: він складається з великих лінзоподібних гранул (А-тип, діаметром 20–35 мкм) та значно менших сферичних гранул (Б-тип, діаметром 2–10 мкм). Це є його унікальною особливістю порівняно з іншими зерновими. Температура клейстеризації пшеничного крохмалю є відносно низькою і зазвичай знаходиться в діапазоні 58–64 °С. При нагріванні у воді він утворює клейстер середньої в'язкості, який після охолодження дає м'який, непрозорий гель. Важливою особливістю пшеничного крохмалю, особливо отриманого з борошна, є наявність на поверхні гранул адсорбованих білків та ліпідів, що може впливати на швидкість гідратації та властивості клейстеру. Технологічний потенціал пшеничного крохмалю нерозривно пов'язаний з його функціональним значенням в борошні, де він разом з клейковиною формує структуру тіста та визначає якість хлібобулочних та макаронних виробів.

Крохмаль ячменю за багатьма властивостями є подібним до пшеничного. Він також має бімодальний розподіл розміру гранул (А-тип та Б-тип), незважаючи на те що співвідношення між фракціями може відрізнитися. Температура клейстеризації ячмінного крохмалю також знаходиться в низькому діапазоні (59–65 °С). Однак його технологічний потенціал розкривається не стільки у використанні в

чистому вигляді, скільки в процесі солодування для пивоваріння. Під час пророщування ячменю в ньому активуються амілолітичні ферменти (α - та β -амілази), які в процесі затирання солоду ефективно гідролізують крохмаль до зброджуваних цукрів, що є основою для отримання пивного сула. Тому ключовими показниками якості ячмінного крохмалю є не його в'язкість чи гелеутворююча здатність, а його доступність для дії ферментів.

Крохмаль кукурудзи, на відміну від пшеничного та ячмінного, має гранули переважно багатогранної, полігональної форми, розмір яких варіює в межах 5–25 мкм. Він характеризується значно вищою температурою клейстеризації (62–72 °С). Кукурудзяний крохмаль утворює високов'язкі, непрозорі (опалесцентні) клейстери, які при охолодженні формують дуже міцні, щільні гелі. Ця здатність до утворення міцних гелів, зумовлена інтенсивною ретроградацією амілози, що є його головною технологічною перевагою. Завдяки цьому кукурудзяний крохмаль є "золотим стандартом" і найбільш широко використовуваним загусником у харчовій промисловості для виробництва пудингів, соусів, начинок для випічки, а також знаходить широке застосування в паперовій, текстильній та фармацевтичній галузях. Існують також спеціальні сорти кукурудзи, що дають воскоподібний (майже 100% амілопектину) та високоамілозний крохмаль з унікальними властивостями.

В процесі дослідження проводили термопластичне екструдювання при високих температурах. Досліджувались наступні зразки: нативне зерно пшениці, ячменю та кукурудзи, а також суміш зерна з морквою або буряком (5г овочів на 95 г зерна) для досягнення вологості суміші 17-18%. Додавання моркви та буряку – це внесення в систему нових компонентів, які суттєво впливатимуть на процес екструзії та властивості кінцевого продукту. Використання овочів для досягнення потрібної вологості супроводжується тим, що значна частина цієї вологи перебуває у зв'язаному стані в структурі овочів, що може впливати на її доступність під час екструзії порівняно з простою доданою водою.

Буряк багатий на сахарозу, а морква містить переважно глюкозу та фруктозу. Прості цукри діють як пластифікатори під час екструзії. Вони знижують температуру склування та в'язкість розплаву, що може призвести до зменшення ступеня експансії (розширення) продукту. Тобто, екструдати з овочами можуть бути більш щільними та менш повітряними.

Морква, і буряк є джерелами пектинових речовин (розчинної клітковини). Клітковина конкурує з крохмалем за воду, що може вплинути на ступінь його желатинізації. Волокна клітковини можуть порушувати цілісність крохмального матриксу, що також зменшує експанзію та змінює текстуру продукту (робить його менш хрупким).

Прості цукри та амінокислоти (з білків зерна) при високих температурах екструзії будуть активно вступати в реакцію Майяра. Продукти стануть темнішими, набудуть карамельних/смажених відтінків. З'являться нові, приємні ароматичні сполуки.

Для проведення експерименту було сформовано дев'ять дослідних зразків. Перша група зразків (контрольна) являла собою цільне зерно кожної з трьох культур без будь-яких домішок. Друга та третя групи були багатокомпонентними сумішами, приготованими шляхом змішування 95 частин подрібненого зерна відповідної культури з 5 частинами овочевого поре (моркви або буряку) за масою. Таке співвідношення дозволило не лише збагатити суміш біологічно активними речовинами, але й досягти оптимального для процесу термопластичної екструзії рівня вологості сировини, що становив 17-18%, без додаткового внесення води. Кожен з цих зразків піддавався екструзійній обробці за однакових термомеханічних умов для забезпечення коректності порівняльного аналізу впливу типу зернової сировини та виду овочевої добавки на властивості кінцевих продуктів.

Зразки, які перелічені, внесено до структурованого трифакторний експеримент, у якому факторами -незалежними змінними є:

- Тип зернової сировини (3 рівні): пшениця, ячмінь, кукурудза.
- Тип овочевої добавки (3 рівні): без добавки (контроль), морква, буряк.
- Екструзійна обробка (2 рівні): до обробки (нативне зерно) та після обробки (екструдат).

Проведені дослідження кінематичної в'язкості 1% відфільтрованих клейстерів з нативного зерна пшениці, кукурудзи та ячменю показали близькі за значеннями результати (1,02, 1,07 та 1,08сСт відповідно), що незначно перевищують в'язкість води (рис. 2). Це свідчить про те, що в умовах експерименту в розчин переходить обмежена кількість полісахаридів. Найвищий показник в'язкості для зразка з ячменю (1,08 сСт), що ймовірно, пояснюється екстракцією водорозчинних β -глюканів, які є характерними для цієї культури і відомі своєю здатністю створювати високов'язкі розчини.

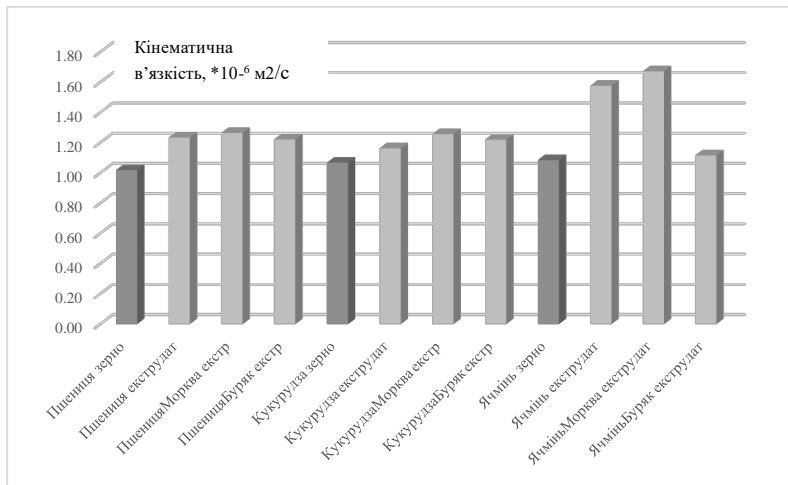


Рис. 2. Кінематична в'язкості 1% відфільтрованих клейстерів

Отримані експериментальні дані дозволяють зробити низку важливих висновків щодо впливу екструзійної обробки, типу зернової сировини та овочевих добавок на властивості водорозчинної фракції клейстерів. Для всіх трьох видів зерна спостерігається зростання кінематичної в'язкості після екструзійної обробки порівняно з нативним зерном (пшениця +20,6%; кукурудза+8,4%; ячмінь+46,3%).

Отримані результати підтверджують основну гіпотезу, згідно з якою екструзія викликає желатинізацію та часткову деструкцію крохмалю, що призводить до переходу значно більшої кількості полісахаридів у розчинний стан при приготуванні 1% суспензії. Розчинені макромолекули визначають підвищену в'язкість системи, причому більш виражений ефект спостерігається для ячменю, з приростом на (+46,3%). Це пояснюється тим, що окрім клейстеризації крохмалю, екструзія сприяє більш ефективній екстракції та частковій деполімеризації β -глюканів, які формують високов'язкі розчини. У нативному зерні ці полімери були частково «замкнені» у структурі клітинних стінок, тоді як екструзія забезпечує їх вивільнення.

Припустимий вплив овочевих добавок може розглядатися як ефект "розбавлення", тобто заміна 5% крохмалевмісної сировини на овочі, а саме в 1 г зразка тепер містить менше крохмалю, який є основним агентом, що створює в'язкість. Прості цукри (особливо в буряку) можуть посилювати термомеханічну деструкцію крохмалю під

час екструзії. Більш інтенсивне розщеплення полісахаридних ланцюгів призведе до утворення коротших молекул, які створюють менш в'язкі розчини. Пектини та клітковина, хоча й можуть утворювати в'язкі розчини, в 1% суспензії їхній внесок у загальну в'язкість, ймовірно, буде меншим, ніж внесок желатинізованого крохмалю, який вони "розбавляють".

Вплив добавок на пшеницю виявився мінімальним. Незначне підвищення в'язкості за наявності моркви, на нашу думку, пояснюється екстракцією пектинових речовин, що сприяють структуроутворенню в системі. Зниження в'язкості при додаванні буряка перебуває в межах експериментальної похибки, але узгоджується з гіпотезою про пластифікуючу дію цукрів.

Для зразків з зерна кукурудзи додавання як моркви так і буряку призвело до зростання в'язкості, що суперечить гіпотезі про зниження. Можливо це пояснюється утворенням комплексів пектинових та інших розчинних речовин овочів із кукурудзяним крохмалем або безпосереднє внесення додаткової в'язкості системі, що переважило ефект розбавлення або часткової деструкції.

Для ячменю спостерігається найбільша різниця, при цьому додавання моркви дещо підвищує в'язкість, ймовірно через пектинові речовини, тоді як додавання буряку спричиняє різке її зниження.

Екструзійна обробка значно підвищує в'язкість водорозчинної фракції клейстерів для всіх досліджуваних культур, що свідчить про глибоку трансформацію полісахаридів. Найбільш чутливим до екструзії виявився ячмінь, що, ймовірно, пов'язано з модифікацією не лише крохмалю, а й β -глюканів.

Гіпотеза про зниження в'язкості під впливом овочевих добавок за рахунок ефекту «розбавлення» та пластифікуючої дії цукрів підтвердилася частково і лише для досліджуваного зразка ячмінь з буряком.

Вплив моркви у всіх трьох випадках показав, що додавання моркви призвело до невеликого, але стабільного зростання в'язкості. Це дозволяє зробити припущення, що головним ефектом від додавання моркви є екстракція пектинових речовин, які самі по собі є загусниками і їхній внесок у в'язкість перевищує ефект "розбавлення".

Вплив буряку виявився залежним від типу зерна, а саме на пшеницю він практично не вплинув, на кукурудзу підвищив в'язкість, а на ячмінь спричинив різке її зниження. Найбільш цікавим результатом є значне зниження в'язкості екструдату ячменю з буряком, що пояснюється синергетичним ефектом, саме високий вміст сахарози в

буряку функціонував як потужний пластифікатор для полісахаридної системи ячменю, до складу якої входять крохмаль та β -глюкани, що призвело до інтенсивної термомеханічної деструкції полімерів під час екструзії. Утворені коротші полімерні ланцюги утворюють менш в'язкі розчини.

Висновки. Аналіз результатів показав, що екструзійна обробка призводить до суттєвого підвищення кінематичної в'язкості 1% відфільтрованих клейстерів для всіх видів зерна, при цьому найбільш виражене зростання (+46,3%) спостерігалось для ячменю, що ймовірно пов'язано з модифікацією β -глюканів. Вплив овочевих добавок виявився неоднозначним. Додавання 5% моркви стабільно спричинило незначне підвищення в'язкості всіх зразків, що пояснюється загущуючою дією екстрагованих пектинових речовин. Найбільш значущий ефект спостерігався за додавання 5% буряку до ячменю, що призвело до різкого зниження в'язкості на 29,1% порівняно з екструдатом чистого ячменю, та свідчить про те, що високий вміст сахарози в буряку функціонує як ефективний пластифікатор, інтенсифікуючи термомеханічну деструкцію полісахаридів ячменю, зокрема крохмалю та β -глюканів, під час екструзії.

Список джерел інформації / References

1. Altan A., Maskan M. Extrusion cooking of barley flour and process parameter optimization. *Food and Bioprocess Technology*. 2012. Vol. 5(5). P. 1759–1769.
2. Kowalczewski P. L., Gumienna M., Rybicka I., Dwiecki K., Czarnecka-Skwarek M. The influence of apple pomace on the nutritional, physical, and sensory properties of corn extrudates. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2019. Vol. 43(8). e14041.
3. Carvalho C.W.P., Takeiti C.Y., Ascheri J.L.R., Ascheri D.P.R. Effect of sucrose on the properties of rice and bean extrudates. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2010. Vol. 30(4). P. 916–922.
4. Compart J, Singh A, Fettke J, Apriyanto A. Customizing Starch Properties: A Review of Starch Modifications and Their Applications. *Polymers (Basel)*. 2023 Aug 21;15(16):3491. doi: 10.3390/polym15163491. PMID: 37631548; PMCID: PMC10459083.
5. Фоміна І.М., Парфірова О.В. Використання капілярних віскозиметрів ВПЖ для вимірювання в'язкості клейстеризованої борошняної суспензії пшениці під час її пророщування // «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробки і харчових виробництв», ХНТУСГ ім. П.Василенка, 10-11 листопада 2011 р. С. 173-178
Fomina I.M., Parfirova O.V. Vykorystannya kapilyarnykh viskozymetriv VPZh dlya vymiryuvannya v'yazkosti kleysteryzovanoi boroshnyanoi suspensiyi pshenytsi pid chas yiyi proroshchuvannya // «Suchasni napryamky tekhnolohiyi ta

Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі, 2025. Вип. 2 (38). ISSN: 2312-3990X (Print) 2519-2922 (Online)

mekhanizatsiyi protsesiv pererobnykh i kharchovykh vyrobnytstv», KhNTUSH im. P.Vasylenka, 10-11 lystopada 2011 r. S. 173-178

6. Азарян Ю.Б., Маликов К.С. (Кер. Фоміна І.М.) Використання капілярних вискозиметрів ВПЖ для визначення стану крохмалю зернової сировини під час термопластичного екструдювання // Інноваційні технології розвитку харчових виробництв та ресторанної індустрії: наукові пошуки молоді [Електронний ресурс] : тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених, 26 жовтня 2023 р. / Державний біотехнологічний університет. Харків. 2023. С. 136.

Azaryan Yu.B., Malikov K.S. (Ker. Fomina I.M.) Vykorystannya kapilyarnykh viskozymetriv VPZh dlya vyznachennya stanu krokhmalyu zernovoyi syrovyny pid chas termoplastychnoho ekstruduvannya // Innovatsiyi tekhnolohiyi rozvytku kharchovykh vyrobnytstv ta restorannoyi industriyi: naukovi poshuky molodi [Elektronnyy resurs] : tezy dopovidey Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi zdobuvachiv vyshchoyi osvity i molodykh vchenykh, 26 zhovtnya 2023 r. / Derzhavnyu biotekhnolohichnyy universytet. Kharkiv. 2023. S. 136.

7. Ю. Азарян, К. Маликов, І. Фоміна Дослідження зміни стану крохмалю під час термопластичного екструдювання зерна пшениці // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і практичні підходи виробництва та регулювання використання харчових добавок в країнах Європейського Союзу та в Україні», 25 жовтня 2023. К.: НУХТ, 2023. С. 37-38.

Yu. Azaryan, K. Malikov, I. Fomina Doslidzhennya zminy stanu krokhmalyu pid chas termoplastychnoho ekstruduvannya zerna pshenytsi // Materialy II Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Problemy i praktychni pidkhody vyrobnytstva ta rehulyuvannya vykorystannya kharchovykh dobavok v krayinakh Yevropeys'koho Soyuzu ta v Ukraini», 25 zhovtnya 2023. K.: NUKhT, 2023. S. 37-38.

Фоміна Ірина Миколаївна, канд. техн. наук, доцент, кафедра технології хлібопродуктів і кондитерських виробів, Державний біотехнологічний університет. e-mail: anirif@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2737-1496>

Fomina Iryna, PhD, Associate Professor, Department of technology of bread products and confectionery products, State Biotechnological University. e-mail: anirif@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2737-1496>

Гавриш Тетяна Володимирівна, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрою технології хлібопродуктів і кондитерських виробів, Державний біотехнологічний університет. e-mail: gavrishtanya@ukr.net, ORCID: orcid.org/0000-0002-5461-8442

Gavrish Tatyana, PhD, Associate Professor, head department of technology of bread products and confectionery products, State Biotechnological University. e-mail: gavrishtanya@ukr.net, ORCID: orcid.org/0000-0002-5461-8442

Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі, 2025. Вип. 2 (38). ISSN: 2312-3990X (Print) 2519-2922 (Online)

Маліков Кирило Сергійович, аспірант, кафедра технології хлібопродуктів і кондитерських виробів, Державний біотехнологічний університет. e-mail: llirik4750@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6983-1431>

Malikov Kurylo, PhD Student, Department of technology of bread products and confectionery products, State Biotechnological University. e-mail: llirik4750@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6983-1431>

Прийнято 18.11.2025 р. Оприлюднено 01.12.2025р.

УДК 637.524.6:[664.9.022.6:637.522.6]:(664.641.4+664.641.7+664.38:635.62):613.292
DOI: <https://doi.org/10.31359/2312-3990X-2025-38-2-66>

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ БОРОШНА ЯК ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СТАБІЛІЗАТОРІВ БІЛКОВО-ЖИРОВИХ ЕМУЛЬСІЙ У СКЛАДІ М'ЯСНИХ ПАШТЕТІВ

**Т.М. Головка, М.В. Жеребкін, І.М. Курмакова,
О.О. Чех, О.С. Бондар**

Актуальність дослідження зумовлена сучасними тенденціями харчової промисловості, спрямованими на розробку продуктів із покращеним нутрієнтним профілем та раціональне використання вторинних сировинних ресурсів. Перспективним є використання колагенвмісної сировини у вигляді білково-жирових емульсій (БЖЕ), стабілізованих нетрадиційними видами борошна. Такий підхід відповідає принципам циркулярної економіки та дозволяє збагатити готовий продукт функціональними інгредієнтами. Метою роботи було наукове обґрунтування та розробка технології печінкових паштетів із частковою заміною жиру на БЖЕ та дослідження їх якісних показників. Доведено технологічну доцільність використання розроблених БЖЕ для раціонального використання колагенвмісної сировини та покращення харчової цінності паштетів при збереженні високих споживчих властивостей.

Ключові слова: м'ясні вироби, традиційний печінковий паштет, білково-жирова емульсія, колаген, функціональні інгредієнти, альтернативне борошно, якісні характеристики