

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-367-15>

УДК 664.8:663.15:577.152.1

БАЛЬ-ПРИЛИПКО ЛАРИСА

Національний університет біоресурсів і природокористування України

<https://orcid.org/0000-0002-9489-8610>

e-mail: bplv@ukr.net

НИКОЛАЄНКО МИКОЛА

Національний університет біоресурсів і природокористування України

<https://orcid.org/0000-0003-2213-4985>

e-mail: msnikolaienko@gmail.com

СЕРДЮК МАРИНА

Національний університет біоресурсів і природокористування України

<https://orcid.org/0000-0002-6504-4093>

e-mail: maryna.serdiuk@nubip.edu.ua

БАНДУРА ВАЛЕНТИНА

Національний університет біоресурсів і природокористування України

<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-8074-3020>

vbandura@nubip.edu.ua

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІН АКТИВНОСТІ ВОДИ ТА ВОЛОГОЗВ'ЯЗУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ РОСЛИННИХ СУБСТРАТІВ У ПРОЦЕСІ МОЛОЧНОКИСЛОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ

У роботі досліджено закономірності змін активності води та вологозв'язувальної здатності рослинних субстратів у процесі молочнокислої ферментації з метою обґрунтування їх технологічного використання як функціональних інгредієнтів харчових продуктів. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю глибшого розуміння зміни водного стану рослинної сировини під впливом біотехнологічних процесів, що визначає її структурно-механічні та вологоутримувальні властивості.

Об'єктом дослідження були рослинні субстрати різної біохімічної природи: зерно спельти, насіння льону, ламінарія та плодове тіла гриби. Ферментацію проводили із застосуванням культури *Lactiplantibacillus plantarum* за контрольованих умов протягом 24 годин із періодичним відбором проб. Активність води визначали гігрометричним методом, а вологозв'язувальну здатність – методом пресування.

Встановлено, що у процесі молочнокислої ферментації відбувається поступове зниження активності води у всіх досліджених субстратах, що свідчить про перерозподіл водної фази та зменшення частки вільної води. Найбільш виражене зниження показника спостерігалось у субстраті насіння льону, що пояснюється високою гідрофільністю його муциляжних полісахаридів. Водночас у субстратах зерна спельти та плодів гриби зміни мали менш інтенсивний характер.

Доведено, що вологозв'язувальна здатність усіх субстратів зростає протягом ферментації, проте інтенсивність цього процесу суттєво залежить від їх хімічного складу. Максимальне зростання ВЗЗ встановлено для льону (до 120 %), значне – для ламінарії (75,4 %), тоді як для спельти та гриби зміни були помірними. Отримані залежності мають нелінійний характер і добре описуються поліноміальними моделями ($R^2 > 0,99$).

Ключові слова: молочнокисла ферментація; рослинні субстрати; активність води; вологозв'язувальна здатність; кінетика процесу.

BAL-PRYLYPKO LARYSA, NIKOLAENKO MYKOLA, SERDYUK MARINA, BANDURA VALENTYNA

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

DETERMINATION OF THE PATTERNS OF CHANGES IN WATER ACTIVITY AND MOISTURE-BINDING CAPACITY OF PLANT SUBSTRATES IN THE PROCESS OF LACTIC ACID FERMENTATION

The study investigates the patterns of changes in water activity and water-binding capacity of plant substrates during lactic acid fermentation to substantiate their technological use as functional ingredients in food products. The relevance of the study is due to the need for a deeper understanding of the transformation of the state of water in plant raw materials under the influence of biotechnological processes that determine their structural, mechanical, and moisture-retaining properties.

The objects of the study were plant substrates of different biochemical nature: spelt, flaxseed, Laminaria, and oyster mushroom fruiting bodies. Fermentation was carried out using a *Lactiplantibacillus plantarum* culture under controlled conditions for 24 hours with periodic sampling. Water activity was determined by a hygrometric method, while water-binding capacity was assessed using a pressing method.

It was established that during lactic acid fermentation, a gradual decrease in water activity occurs in all studied substrates, indicating a redistribution of the water phase and a reduction in the proportion of free water. The most pronounced decrease was observed in the flaxseed substrate, which can be explained by the high hydrophilicity of its mucilage polysaccharides. At the same time, changes in spelt and oyster mushroom substrates were less intensive.

It was proven that the water-binding capacity of all substrates increases during fermentation; however, the intensity of this process significantly depends on their chemical composition. The highest increase was observed for flaxseed (up to 120%), a substantial increase for Laminaria (75.4%), while changes in spelt and oyster mushroom were moderate. The obtained dependencies are nonlinear and are well described by polynomial models ($R^2 > 0.99$).

Keywords: lactic acid fermentation; plant substrates; water activity; water-binding capacity; process kinetics.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.05.2026

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/)

© Баль-Прилипко Лариса, Ніколаєнко Микола, Сердюк Марина, Бандура Валентина

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

У сучасних харчових технологіях зростає інтерес до використання ферментованої рослинної сировини як функціонального інгредієнта, здатного цілеспрямовано впливати на структурно-механічні, вологоутримувальні та технологічні властивості харчових продуктів. Особливу увагу привертає молочнокисла ферментація, яка є одним із найперспективніших способів біотехнологічного перетворення рослинних субстратів, оскільки забезпечує не лише мікробіологічні та біохімічні зміни сировини, а й суттєво змінює її функціонально-технологічні характеристики. У цьому аспекті важливого значення набуває дослідження показників, що відображають стан води в системі, зокрема активності води та вологозв'язувальної здатності, оскільки саме вони значною мірою визначають перебіг технологічних процесів, стабільність структури, здатність до утримання вологи, а також прогнозованість поведінки ферментованих інгредієнтів у складі харчових продуктів.

Актуальність цієї проблеми посилюється тим, що рослинні субстрати різного походження істотно відрізняються за хімічним складом, вмістом полісахаридів, білкових і мінеральних компонентів, а отже, по-різному реагують на вплив біокатализаторів процесу. Зокрема, спельта, льон, ламінарія та глива характеризуються специфічними особливостями складу, що зумовлює відмінності у зв'язуванні води, формуванні гідратних оболонок та змінах водного стану в процесі молочнокислої ферментації. Водночас у науковій літературі недостатньо систематизовано дані щодо закономірностей зміни активності води та вологозв'язувальної здатності саме для таких різномірних рослинних субстратів у єдиних умовах ферментації, що ускладнює науково обґрунтований вибір режимів їх біотехнологічної обробки та напрямів подальшого використання.

Розв'язання цієї проблеми має важливе наукове і практичне значення. У науковому аспекті воно дає змогу поглибити уявлення про особливості трансформації водного стану рослинної сировини під дією молочнокислої мікробіоти та встановити закономірності формування її функціонально-технологічних властивостей. У практичному аспекті такі дослідження створюють підґрунтя для цілеспрямованого використання ферментованих субстратів із прогнозованими вологоутримувальними характеристиками у технологіях харчових продуктів, де стабільність структури, утримання вологи та керованість технологічних властивостей мають визначальне значення.

Аналіз досліджень та публікацій

Молочнокисла ферментація рослинної сировини розглядається як один із найбільш ефективних біотехнологічних підходів до цілеспрямованої зміни складу та властивостей харчових систем. На відміну від традиційних методів обробки, цей процес поєднує функції консервування та біотрансформації, забезпечуючи формування нових якісних характеристик продукту. У ході ферментації відбуваються комплексні зміни, зумовлені метаболічною активністю молочнокислих бактерій [1].

Рослинні субстрати (зернові, псевдозернові, водорості, гриби) характеризуються складною структурною організацією, яка включає клітинні стінки, полісахариди (целюлоза, геміцелюлози, пектини, β -глюкани), білки та розчинні вуглеводи. У процесі ферментації під дією ферментативних систем молочнокислих мікроорганізмів відбувається частковий гідроліз цих компонентів, що супроводжується зміною дисперсності системи та перерозподілом зв'язаної і вільної вологи [2]. Це безпосередньо впливає на активність води (a_w), а також на вологозв'язувальну здатність (ВЗЗ), яка визначає технологічні властивості сировини.

Згідно з сучасними уявленнями, активність води є найважливішим фактором, який характеризує стабільність харчових систем. Саме даний показник визначає доступність води для мікроорганізмів та швидкість перебігу хімічних і ферментативних реакцій. У процесі молочнокислої ферментації зниження рН та накопичення розчинених метаболітів (органічних кислот, пептидів, цукрів) призводять до зниження активності води за рахунок її зв'язування та зміни осмотичного тиску системи. Доведено, що молочнокисла мікрофлора активно перетворюють водорозчинні вуглеводи у молочну кислоту, що сприяє зниженню активності води, стабілізації продуктів і підвищенню їх мікробіологічної безпеки [3].

Водночас важливим параметром, що визначає функціонально-технологічні властивості ферментованих субстратів, є вологозв'язувальна здатність. ВЗЗ залежить від структури біополімерів, ступеня їх гідратації та здатності утримувати воду у капілярно-пористій системі. У роботах, присвячених ферментації рослинних напоїв та білкових систем, показано, що ферментація сприяє підвищенню ВЗЗ за рахунок часткового гідролізу білків і полісахаридів та утворення нових структурних зв'язків, що утримують воду [4]. Подібні зміни пояснюються формуванням більш розвиненої гелевої структури та збільшенням кількості гідрофільних груп у системі.

Слід зазначити, що інтенсивність змін активності води та ВЗЗ значною мірою залежить від типу рослинного субстрату та штаму мікроорганізмів. Дослідження показують, що різні види молочнокислих бактерій мають різну ферментативну активність і здатність адаптуватися до певних субстратів, що визначає кінетику процесу та властивості кінцевого продукту [5]. Крім того, біохімічний склад субстрату (вміст клітковини, білків, розчинних цукрів) суттєво впливає на ступінь гідратації та структуроутворення.

Окремий напрям досліджень присвячений взаємозв'язку між ферментаційними процесами та формуванням функціональних властивостей продуктів. Показано, що молочнокисла ферментація не лише підвищує біодоступність поживних речовин (зокрема за рахунок деградації антинутриєнтів), а й сприяє утворенню нових біологічно активних сполук, що покращують харчову цінність продуктів [6, 7]. Це робить

ферментовані рослинні субстрати перспективними інгредієнтами для створення функціональних харчових продуктів.

Незважаючи на значну кількість досліджень, більшість робіт зосереджена на мікробіологічних і біохімічних аспектах ферментації, тоді як зміни фізико-хімічних та технологічних показників водного стану системи, зокрема активності води та вологосв'язувальної здатності, вивчені недостатньо. Існуючі дані мають фрагментарний характер і не дають можливості сформулювати узагальнені закономірності для різних типів рослинної сировини.

Таким чином, аналіз літературних джерел свідчить, що молочнокисла ферментація суттєво впливає на водний стан рослинних систем через комплекс біохімічних і структурних перетворень. Водночас відсутність системного підходу до дослідження змін активності води та вологосв'язувальної здатності обумовлює необхідність проведення комплексних досліджень, спрямованих на встановлення закономірностей цих процесів та обґрунтування технологічної доцільності використання ферментованих рослинних субстратів у складі харчових продуктів.

Формування цілей

Метою дослідження було встановлення закономірностей змін активності води та вологосв'язувальної здатності рослинних субстратів у процесі молочнокислої ферментації та оцінювання технологічної доцільності їх використання як ферментованих інгредієнтів у складі харчових продуктів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- визначити активність води рослинних субстратів на різних етапах молочнокислої ферментації;
- визначити вологосв'язувальну здатність рослинних субстратів упродовж ферментаційного процесу;
- узагальнити отримані результати та обґрунтувати технологічну доцільність використання ферментованих рослинних субстратів у складі харчових продуктів.

Викладення основного матеріалу

Підготовку рослинних субстратів до ферментації здійснювали з урахуванням їхніх фізико-хімічних характеристик та необхідності створення сприятливих умов для розвитку молочнокислих бактерій.

Насіння спелти та льону попередньо очищали від сторонніх домішок, промивали та піддавали поверхневій санації шляхом обробки 0,5 %-ним розчином лимонної кислоти з подальшим підсушуванням до поверхнево-сухого стану. Після цього сировину подрібнювали до розміру частинок 0,5...1,0 мм і використовували для приготування водних дисперсій. Для спелти співвідношення подрібненої сировини до води становило 1:3, тоді як для льону – 1:8, що забезпечувало формування однорідної системи, а у випадку льону – характерної в'язкої структури за рахунок слизових полісахаридів.

Сушену ламінарію перед використанням піддавали регідратації у воді протягом 35 ± 5 хв при співвідношенні 1:10. З метою зниження вмісту розчинних солей та стабілізації мінерального складу виконували дворазове замочування (по 10–15 хв кожен цикл). Після цього сировину віджимали до вологості 80–85 % та подрібнювали до пюреподібного стану, формуючи дисперсійну систему із співвідношенням ламінарії до води 1:5.

Плодові тіла гливи сортували, очищали, промивали, обсушували та подрібнювали до частинок 3...5 мм. Для формування стабільної системи використовували співвідношення сировини до води 1:0,3.

Усі субстрати піддавали пастеризації з урахуванням їх специфіки: спелта – 90 ± 2 °C, 12–15 хв; льон – $85 \dots 90$ °C, 8–10 хв; ламінарія – $80 \dots 85$ °C, 5 хв; глива – $85 \dots 90$ °C, 5–7 хв. Після термообробки зразки охолоджували до 32 ± 2 °C.

Ферментацію проводили із використанням чистої культури молочнокислих бактерій виду *Lactiplantibacillus plantarum* у концентрації не менше 1×10^7 КУО/г. Після внесення закваски системи гомогенізували протягом 3 хв при швидкості 3000 об/хв. Процес здійснювали в герметичних ємностях із заповненням 70–80 % об'єму за умов обмеженого доступу кисню при температурі 32 ± 2 °C. Загальна тривалість ферментації становила 24 год. Відбір проб для аналізу проводили перед початком процесу та з інтервалом 6 год упродовж ферментації.

Активність води (a_w) визначали гігрометричним методом із використанням приладу Rotronic HygroPalm (Швейцарія). Принцип методу ґрунтується на встановленні рівноваги між вологістю зразка та повітря у вимірювальній камері з подальшим визначенням відносної вологості та температури, на основі яких розраховується a_w .

Вологосв'язувальну здатність визначали механічним методом пресування, що базується на виділенні вологи під дією навантаження. Зразок витримували під пресом масою 1 кг протягом 10 хв, після чого оцінювали площу виділеної вологи. Розрахунок здійснювали за різницею між загальною площею відбитку та площею, зайнятою зразком, що дозволяло визначити частку зв'язаної води в системі.

Розрахунки та побудову математичних залежностей виконували за допомогою Microsoft Excel 365.

Основним фізико-хімічним показником, який дозволяє проводити моніторинг перебігу молочнокислої ферментації та прогнозувати поведінку рослинних субстратів для подальшого технологічного використання, є активність води (a_w). Активність води демонструє кількість вільної вологи в рослинних субстратах, яка є легкодоступною для метаболічних перетворень. Зміна даного показника впродовж молочнокислої ферментації характеризує інтенсивність метаболічної трансформації високомолекулярних полімерів і утворення низькомолекулярних сполук, які володіють високою здатністю зв'язувати вологу в рослинних субстратах.

Впродовж 24 годин ферментації спостерігалось поступове зниження активності води в усіх рослинних субстратах (рис. 1).

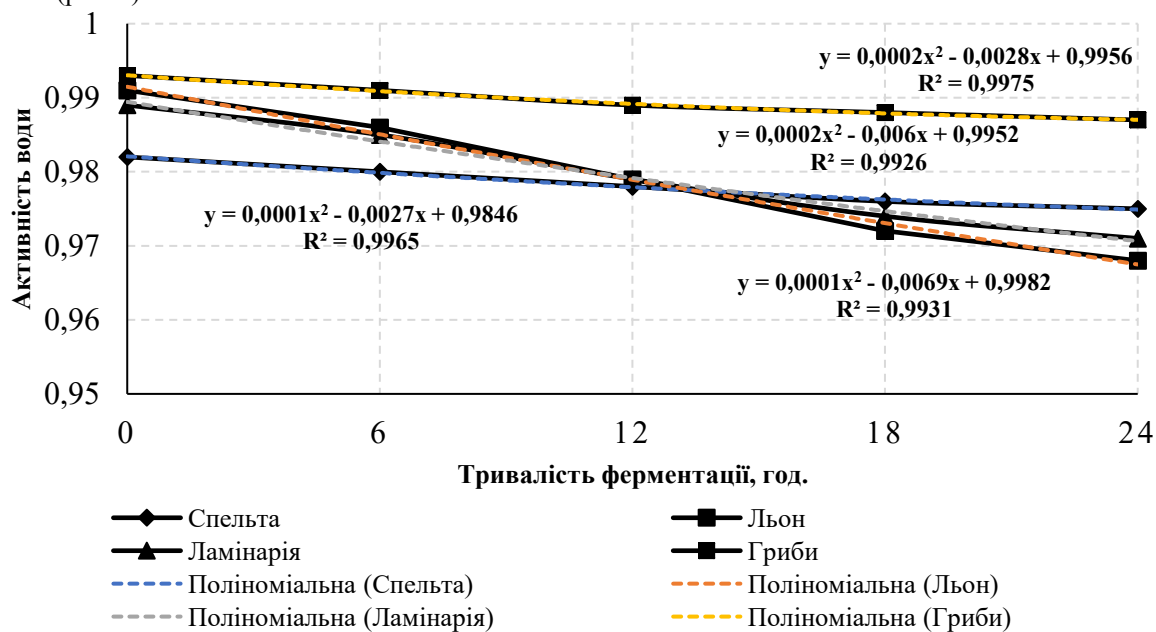


Рис. 1. Динаміка активності води в рослинних субстратах при ферментації

Результатами експериментальних досліджень показано, що максимальним значенням активності води до початку ферментації характеризувався субстрат плодів тил гливи, а мінімальним – субстрат спельти. Виявлена різниця пов'язана з біологічними особливостями рослинних субстратів, зокрема, хімічним складом, вмістом гідрофільних вуглеводів, білків і харчових волокон.

Найбільш помітне зниження активності води було встановлено для льону, причому максимальна інтенсивність даного процесу спостерігалась в інтервалі з 6 до 18 годин ферментації. Така динаміка може бути пов'язана з високою здатністю муциляжного та білково-полісахаридного комплексів насіння льону зв'язувати вологу, і тим самим сприяти її перерозподілу в рослинній системі.

В субстраті ламінарії також виявлено суттєве зниження активності води. За 24 години ферментації воно становило 0,018 одиниць, причому, найбільш помітним воно було в перші 12 годин ферментації. Це пов'язано з наявністю у складі ламінарії альгінатів і інших високомолекулярних гідрофільних сполук, які на початкових стадіях ферментації вступають у взаємодію із водною фазою та знижують її активність у метаболічних трансформаціях.

Зниження активності води в субстраті спельти було менш помітним і становило за 24 години ферментації всього 0,007 одиниць. Причому, зміни мали дуже повільний і майже лінійний характер (рис. 1). Отримана динаміка є свідченням поступовості процесу зв'язування вологи та більш рівномірного перебігу біологічної трансформації під час ферментації.

Найменш виражені зміни активності води зафіксовані в субстраті з плодів тил гливи. За 24 години ферментації зниження становило 0,006 одиниць, що пов'язано з особливостями клітинної структури грибної тканини, а також із характерним співвідношенням полісахаридів, білків і мінеральних речовин.

Слід зазначити, що після 24 годин ферментації значення активності води всіх рослинних субстратів залишалися на високому рівні (в діапазоні 0,968...0,987), що ілюструє збереженість достатньої кількості води для активного ферментативного метаболізму.

Таким чином, виявлені зміни активності води в рослинних субстратах характеризували особливості перерозподілу водної фази під час молочнокислої ферментації, проте не змінювали метаболічну активність мікроорганізмів.

Проведена апроксимація експериментальних даних показала, що динаміку активності води в усіх рослинних субстратах найбільш точно описує поліном другого порядку, про що свідчать високі значення коефіцієнтів детермінації ($R^2 > 0,99$). На основі отриманих моделей можемо констатувати, що зниження активності води під час ферментації рослинних субстратів змінюється поступово, за прогнозованою траєкторією, що описується отриманими залежностями.

Вологозв'язувальна здатність вважається одним із найважливіших показників будь-якої харчової системи, який визначає її подальше технологічне використання як функціонального інгредієнту.

За результатами експериментальних досліджень встановлено статистично достовірне зростання вологозв'язувальної здатності (ВЗЗ) всіх рослинних субстратів впродовж 24 годин ферментації (рис. 2), проте швидкість такого зростання була різною (табл. 1).

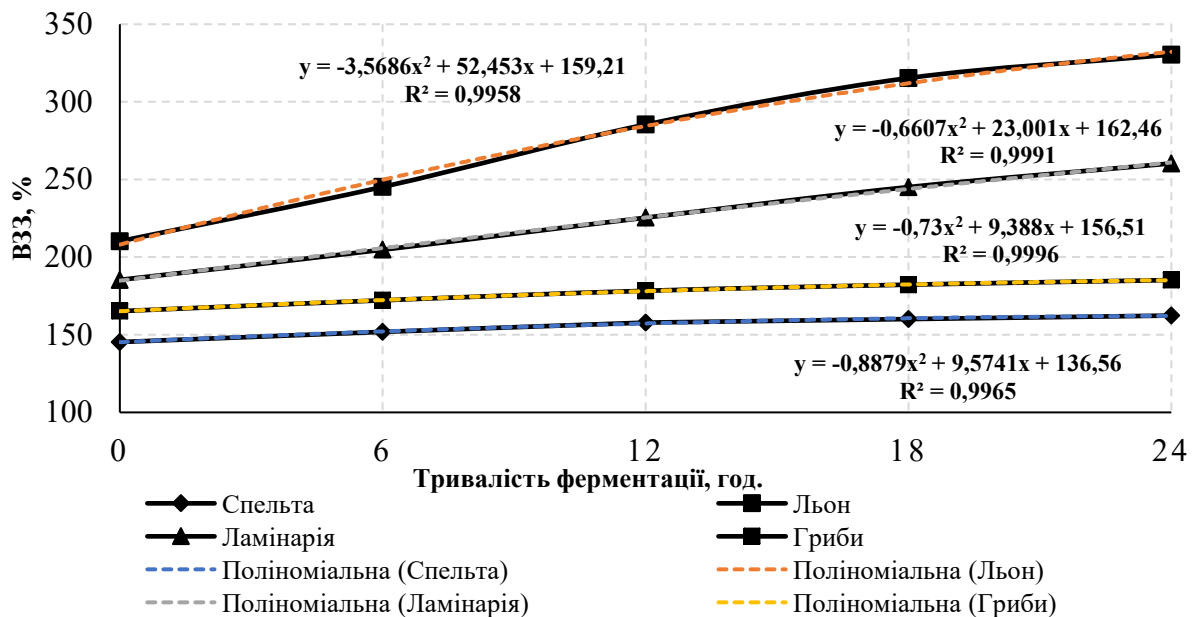


Рис. 2. Динаміка вологозв'язувальної здатності рослинних субстратів впродовж ферментації

Мінімальне початкове значення B33 було встановлене для субстрату спельти. Слід також зазначити, що мінімальне значення швидкості зростання також встановлене для даного субстрату (табл.6). За 24 години ферментації B33 субстрату спельти зросла на 17% зі середньою швидкістю 0,708% за годину.

Таблиця 1

Швидкість зміни B33 при ферментації рослинних субстратів

Субстрат	Швидкість зміни B33, в, %/год.				
	0...6	6...12	12...18	18...24	0...24
Спельта	+1,167	+1,000	+0,333	+0,333	+0,708
Льон	+5,833	+6,667	+5,000	+2,500	+5,000
Ламінарія	+3,333	+3,333	+3,333	+2,500	+3,125
Гриби	+1,167	+1,000	+0,667	+0,500	+0,833

*знак плюс – демонструє наростання показника

Другу сходинку як за початковим значенням B33, так і за швидкістю її зростання займав субстрат гливи. За 24 години ферментації зростання B33 даного субстрату становило 20% зі швидкістю 0,833 % за годину. Найбільш виражені зміни B33 як субстрату гливи, так і спельти були зафіксовані в перші 12 годин ферментації. На даному етапі вони були однаковими для обох субстратів. В подальшому, швидкість зростання B33 для обох субстратів достовірно знижувалась, проте для спельти темпи зниження були більш прискореними.

Значно вищі темпи зростання B33 були встановлені для субстрату ламінарії. За 24 години ферментації даний показник збільшився на 75,4% зі середньою швидкістю 3,125% за годину. Така динаміка може бути пов'язана з високим початковим вмістом високомолекулярних полісахаридів, які після часткового ферментативного гідролізу більш активно взаємодіють із водою та переводять її у зв'язаний стан.

Максимальним початковим значенням B33, а також максимальною швидкістю зростання характеризувався субстрат льону. За 24 години ферментації зростання даного показника становило 120%, а середня швидкість – 5 % за годину. Причому, швидкість зростання даного показника знаходилася на високому рівні впродовж всього процесу, проте максимальною вона була в перші 18 годин ферментації. Після 18 години швидкість знизилася у 2 рази (табл.6). Встановлені зміни B33 пояснюються наявністю в складі льону муциляжних полісахаридів, які володіють високою вологозв'язувальною та вологоутримувальною здатністю.

Проведена апроксимація експериментальних даних констатує чітко виражений нелінійний характер змін B33 всіх рослинних субстратів, а також високу узгодженість експериментальних даних із побудованими моделями, про що свідчить значення коефіцієнта детермінації $R^2 > 0,99$.

Таким чином, встановлені зміни активності води та вологозв'язувальної здатності свідчать про перерозподіл води з вільної у зв'язану форму, що може бути пов'язано з гідратацією полісахаридів і перебудовою білково-вуглеводної структури. Найбільш виражений ефект у льоні узгоджується з високою гідрофільністю лляного муцилагіну та його здатністю формувати розвинені гідроколоїдні системи з підвищеним вологоутриманням.

Отримані результати свідчать про технологічну доцільність диференційованого використання ферментованих рослинних субстратів у складі харчових продуктів залежно від вираженості їх вологозв'язувальних властивостей. Ферментований субстрат насіння льону, для якого встановлено найвище

зростання ВЗЗ та найбільш виражене зниження активності води, є найбільш перспективним для м'ясних фаршевих систем як компонент, здатний підвищувати вологоутримання, стабілізувати консистенцію та зменшувати втрати маси під час термічної обробки. Ферментований субстрат ламінарії, який також характеризувався суттєвим зростанням ВЗЗ, доцільно розглядати як функціональний інгредієнт для емульгованих і реструктурованих м'ясних продуктів, де важливими є зв'язування вологи, ущільнення структури та стабілізація системи. Натомість ферментовані субстрати спельти та гливи, для яких зміни ВЗЗ були менш вираженими, можуть бути використані у складі м'ясних продуктів як додаткові рецептурні компоненти з помірною вологоутримувальною дією, що одночасно забезпечують збагачення системи харчовими волокнами та іншими біологічно функціональними речовинами.

Висновки

1. Визначено, що зміни активності води під час ферментації мають субстратно-специфічний характер. Найбільш виражене зниження a_w встановлено для субстрату з насіння льону, тоді як для субстратів ламінарії, зерна спельти та плодів гливи воно було істотно нижчим. Після 24 год ферментації значення a_w у всіх субстратах залишалися на рівні, достатньому для збереження доступності води в системі.

2. Встановлено статистично достовірне зростання вологозв'язувальної здатності всіх досліджених субстратів, інтенсивність якого визначалась їх видовими особливостями. Найбільше зростання ВЗЗ зафіксовано для субстрату з насіння льону – від 210,25 до 330,41 %, тоді як для субстрату ламінарії зростання становило 75,4 %, для субстрату плодів гливи – 20 %, а для субстрату зерна спельти – 17 %.

3. Узагальнення отриманих результатів свідчить про технологічну доцільність використання ферментованих рослинних субстратів у складі харчових продуктів як інгредієнтів, що цілеспрямовано впливають на водоутримувальні властивості системи. Найбільш перспективними є субстрати насіння льону та ламінарії, які можуть бути рекомендовані для продуктів, де важливими є зв'язування вологи, структуроутворення і стабілізація консистенції, зокрема для фаршевих, емульгованих і формованих м'ясних виробів.

***Наукові дослідження виконані за рахунок коштів гранту Президента України, наданого Національним фондом досліджень України.**

Література

1. Petrova, P., & Petrov, K. Lactic Acid Fermentation of Cereals and Pseudocereals: Ancient Nutritional Biotechnologies with Modern Applications. *Nutrients*. 2020, 12(4), 1118. <https://doi.org/10.3390/nu12041118>
2. Yang, X., Hong, J., Wang, L., Cai, C., Mo, H., Wang, J., Fang, X., & Liao, Z. (2024). Effect of Lactic Acid Bacteria Fermentation on Plant-Based Products. *Fermentation*, 10(1), 48. <https://doi.org/10.3390/fermentation10010048>
3. Chen L, Wang Y, Li X, MacAdam JW and Zhang Y (2023) Interaction between plants and epiphytic lactic acid bacteria that affect plant silage fermentation. *Front. Microbiol.* 14:1164904. doi: 10.3389/fmicb.2023.1164904
4. Ziarno, M., Zaręba, D., Ścibisz, I., & Kozłowska, M. (2024). Texture and water holding capacity of oat drinks fermented with lactic acid bacteria, bifidobacteria and Propionibacterium. *International Journal of Food Properties*, 27(1), 106–122. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2294704>
5. Saverio M., Bancalari E., Siroli L., Tekiner I. H., Tainsa M., Ennahli S., Bertani G., Gatti M. (2025). Lactic acid fermentation of non-conventional plant-based protein extract, *Food Research International*, Vol. 208, 116174, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116174>.
6. Al-Kharousi, Z. S. (2025). Highlighting Lactic Acid Bacteria in Beverages: Diversity, Fermentation, Challenges, and Future Perspectives. *Foods*, 14(12), 2043. <https://doi.org/10.3390/foods14122043>
7. Bal-Prylypko, L., Danylenko, S., Mykhailova, O., Nedorizanyuk, L., Bovkun, A., Slobodyanyuk, N., Omelian, A., & Ivaniuta, A. (2024). Influence of starter cultures on microbiological and physical-chemical parameters of dry-cured products. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 18, 313–330. <https://doi.org/10.5219/1960>

References

1. Petrova, P., & Petrov, K. Lactic Acid Fermentation of Cereals and Pseudocereals: Ancient Nutritional Biotechnologies with Modern Applications. *Nutrients*. 2020, 12(4), 1118. <https://doi.org/10.3390/nu12041118>
2. Yang, X., Hong, J., Wang, L., Cai, C., Mo, H., Wang, J., Fang, X., & Liao, Z. (2024). Effect of Lactic Acid Bacteria Fermentation on Plant-Based Products. *Fermentation*, 10(1), 48. <https://doi.org/10.3390/fermentation10010048>
3. Chen L, Wang Y, Li X, MacAdam JW and Zhang Y (2023) Interaction between plants and epiphytic lactic acid bacteria that affect plant silage fermentation. *Front. Microbiol.* 14:1164904. doi: 10.3389/fmicb.2023.1164904
4. Ziarno, M., Zaręba, D., Ścibisz, I., & Kozłowska, M. (2024). Texture and water holding capacity of oat drinks fermented with lactic acid bacteria, bifidobacteria and Propionibacterium. *International Journal of Food Properties*, 27(1), 106–122. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2294704>
5. Saverio M., Bancalari E., Siroli L., Tekiner I. H., Tainsa M., Ennahli S., Bertani G., Gatti M. (2025). Lactic acid fermentation of non-conventional plant-based protein extract, *Food Research International*, Vol. 208, 116174, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116174>.
6. Al-Kharousi, Z. S. (2025). Highlighting Lactic Acid Bacteria in Beverages: Diversity, Fermentation, Challenges, and Future Perspectives. *Foods*, 14(12), 2043. <https://doi.org/10.3390/foods14122043>
7. Bal-Prylypko, L., Danylenko, S., Mykhailova, O., Nedorizanyuk, L., Bovkun, A., Slobodyanyuk, N., Omelian, A., & Ivaniuta, A. (2024). Influence of starter cultures on microbiological and physical-chemical parameters of dry-cured products. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 18, 313–330. <https://doi.org/10.5219/1960>