

DOI <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2026-26-1-28>

УДК 664.2:663.12

В. А. Гніцевич, д-р техн. наук

К. А. Доронін, аспірант

Державний торговельно-економічний університет

e-mail: v.gnitsevych@knu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-6089-1082

ORCID: 0009-0001-1302-439X

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ФЕРМЕНТАЦІЇ ХУМУСУ СТАРТОВИМИ КУЛЬТУРАМИ

Анотація. У статті наведено результати дослідження параметрів процесу ферментації хумусу із застосуванням стартових культур молочнокислих бактерій. Обґрунтовано доцільність використання керованої ферментації для покращення фізико-хімічних та сенсорних властивостей продукту. Досліджено вплив дози стартової культури, температури та тривалості ферментації на динаміку кислотності та накопичення ароматичних сполук у хумусі. Встановлено закономірності зміни рН та інтенсивності утворення діацетилю в умовах холодної ферментації. Показано, що ферментація за температури 2...6 °С забезпечує стабільний перебіг мікробіологічного процесу без різкого підвищення кислотності. Визначено раціональні параметри ферментації, які дозволяють керовано формувати смак і аромат хумусу та підвищувати його споживчу привабливість.

Ключові слова: молочнокисле бродіння, бобові культури, холодна ферментація, кислотність, діацетил, ароматичний профіль, функціональні продукти, пастоподібні системи.

Постановка проблеми. У світовій практиці харчових технологій спостерігається стійка тенденція до розширення асортименту ферментованих продуктів рослинного походження, що зумовлено зростанням попиту на продукти функціонального та пробіотичного спрямування. З огляду на це бобові культури мають перспективу розширення використання в харчовій промисловості завдяки своїм харчовим, екологічним та економічним перевагам. Прогнозовано, що сегмент ферментованих бобових зросте з 0,3 млрд у 2024 до 1,5 млрд USD до 2035 року [1].

Однак їх застосування все ще обмежене через наявність антипоживних та алергенних сполук, досить низькі технологічні властивості та сенсорні характеристики. Ферментація розглядається як ефективний інструмент підвищення біологічної цінності, покращення засвоюваності поживних речовин та формування стабільних органолептичних характеристик продуктів переробки бобових культур [2].

Хумус є популярним продуктом на основі нуту, який широко споживається у країнах Близького Сходу, Європи та Північної Америки. Проте класична технологія його приготування не передбачає застосування керованої ферментації, що обмежує можливості регулювання та формування функціональних властивостей продукту. У доступних наукових джерелах відсутні систематизовані дані щодо використання стартових культур у процесі ферментації хумусу та впливу параметрів цього процесу на показники якості готового продукту.

Актуальність цього дослідження зумовлена необхідністю наукового обґрунтування параметрів ферментації хумусу із застосуванням стартових культур, що дозволить керовано формувати його фізико-хімічні, мікробіологічні та органолептичні властивості. Особливого значення набуває можливість отримання хумусу з покращеними споживчими характеристиками та потенційними оздоровчими властивостями, що відповідає сучасним світовим тенденціям розвитку харчових технологій.

Наукова новизна роботи полягає у дослідженні впливу параметрів процесу ферментації хумусу стартовими культурами на формування показників якості продукту та в обґрунтуванні оптимальних режимів ферментації для цього виду харчової продукції.



Аналіз останніх досліджень. Дослідження щодо ферментації бобових є перспективним напрямом у процесі розроблення новітніх технологій харчових продуктів. Так, авторами [3–8] досліджуються такі чинники впливу на процес, як вибір штамів LAB, температура, час, кисень, добавки. Вказується, що оптимальні умови ще потребують стандартизації для різних видів бобових культур. У цих роботах визначено, що молочнокисле бродіння змінює склад та поживні, функціональні, технологічні і сенсорні характеристики бобових культур. Процес регульованої ферментації дозволяє змінювати конформацію та структуру білків, вуглеводів та жирів, що визначають зміни всіх інших властивостей бобових культур. Визначено, що молочнокисле бродіння є дієвим методом зниження рівня антипоживних сполук та поліпшення засвоюваності білків. Крім того, молочнокисле бродіння знижує алергенність бобових. Корисні для здоров'я ефекти ферментованих бобових зумовлені не тільки позитивними змінами у складі, а й наявністю пробіотиків, що підтверджує можливість використання ферментованих бобових як функціональних харчових продуктів.

Визначенням раціональних параметрів ферментації бобових займалися вчені Stefan W. Ritter, Quentin P. Thiel [9]. Ними визначений підхід до оптимізації параметрів ферментації, таких як температура, концентрація клітин інокуляту та додавання метіоніну для декількох штамів з метою активації процесу ферментації субстратів на основі люпину та бобових для зменшення специфічного аромату та поліпшення сенсорного профілю освіжаючого напою. Встановлено, що температура була важливою для більшості моделей, тоді як концентрація клітин інокуляту та додавання метіоніну мали незначний вплив. Підвищення температури ферментації призвело до зниження концентрації альдегіду та діацетилю та співвідношення оцтової/молочної кислоти.

У роботі [10] розглядається вплив вибраних штамів молочнокислих бактерій на сенсорні характеристики та вміст білків та амінокислот у ферментованих водних екстрактах, отриманих із зерен люпину, гороху та квасолі. Були виявлені нові та помітні сенсорні нотки, зокрема вареної шинки, мигдалю та сандалового дерева. Ферментований водний екстракт з люпину показав вищий загальний вміст білка, близький до вмісту в коров'ячому молоці. Результати цього дослідження показали, що молочнокисле бродіння покращує сенсорні характеристики інноваційних ферментованих напоїв на основі бобових культур, які зберігали високу кількість життєздатних лактобактерій до кінця холодильного зберігання.

У роботі [11] порівнювали функціональні властивості паст на основі бобових культур, вироблених із використанням різних схем ферментації та заквасок, на основі оцінки активності DPPH, відновної здатності, летких речовин та фенольних сполук. Ними доведено, що ферментаційні процеси значно збільшують загальний вміст фенолів і танінів, активність DPPH-радикалів і відновлювальну здатність у пастах, а вибір концентрату бобових культур та відповідна температура ферментації можуть позитивно вплинути на профіль летких органічних сполук у продуктах.

Таким чином, аналіз наукових публікацій останніх років свідчить, що ферментація бобових із використанням стартових культур є ефективним інструментом керування якістю харчових систем. Встановлено, що основні параметри ферментації, а саме температура, тривалість процесу, доза інокуляту та початковий рН, істотно впливають на перебіг мікробіологічних і біохімічних процесів, а також на фізико-хімічні, структурно-механічні та сенсорні властивості ферментованих продуктів.

Водночас результати досліджень мають фрагментарний характер і переважно стосуються окремих видів бобових або рідких і напіврідких систем, що зумовлює недостатню вивченість параметрів ферментації пастоподібних продуктів, зокрема хумусу.

Метою цієї роботи є наукове обґрунтування та експериментальне визначення раціональних параметрів процесу ферментації хумусу із застосуванням стартових культур, що забезпечують



стабільність мікробіологічних показників, покращення фізико-хімічних та сенсорних властивостей продукту, а також підвищення його споживчих і функціональних характеристик.

Основна частина. Сформульована робоча гіпотеза щодо можливості використання стартових культур у виробництві ферментованого хумусу окреслила низку штамів, що можуть працювати в умовах «холодного бродіння». Попередніми дослідженнями органолептичних характеристик модельних систем хумусу із різними штамами мікроорганізмів та визначенням кратності змін ароматичних сполук у модельних систем порівняно із контролем встановлено, що внесення *Lactobacillus rhamnosus* та *Lactococcus lactis* дозволяє отримати більш виражений смак та аромат продукту, що зумовлено більш інтенсивним накопиченням кетонів порівняно з іншими штамами [12].

Визначення раціональних параметрів ферментації хумусу базується на тому, що ключовими показниками є кислотність (рН) та смак, які комплексно відображають ефективність мікробіологічного процесу, ступінь розвитку ароматичних сполук і загальну споживчу привабливість продукту. Саме поєднання цих двох параметрів дозволяє комплексно оцінити результати ферментації.

Змінними параметрами регулювання ефективності ферментації хумусу є значення таких показників, як доза внесення стартової культури, тривалість процесу ферментації, температура середовища.

Рекомендоване виробником дозування обраної стартової культури визначено для заквашування незбираного молока як сировини у виробництві кисломолочних продуктів та становить $5 \cdot 10^6 \dots 1 \cdot 10^7$ КУО/г. Тому постала необхідність обґрунтування умов дії штамів в іншій харчовій системі, а саме в хумусі.

Визначили, що дозування суміші ліофілізованих штамів варіюватиметься у межах $1 \cdot 10^6 \dots 1 \cdot 10^8$ КУО/г продукту, тривалість ферментолізу становитиме 1...30 днів з періодичністю відбору проб 1 раз на 7 днів. Температура в камері заквашування варіюватиметься в інтервалі 2...6 °С. З огляду на те, що нормативні документи, що регулюють фізико-хімічні та органолептичні показники хумусу в Україні та ЄС, відсутні, користувалися загальними вимогами до харчових продуктів. Для контролю (Хумус «Класичний» ТМ Yofl) кислотність, що зумовлена наявністю у рецептурі лимонної кислоти, перебуває в межах рН = 4,6...5,5. Відповідно, мінімальним значенням рН дослідного зразка хумусу прийнято 4,7...4,8, оскільки це поріг кислотності *Lactobacillus rhamnosus*, нижче якого його метаболічна активність знижується. Значення рН нижче 4,7...4,8 негативно впливає й на органолептичні властивості продукту (поява занадто кислого смаку), що робить продукт менш привабливим для споживача.

Досліджено зміни рН дослідних зразків хумусу в процесі ферментації залежно від дози внесеної стартової культури (рис. 1). Температура процесу становила 4 °С, тривалість ферментації 30 днів.

Дослідження свідчать, що рН дослідних зразків хумусу на початку ферментації перебувало в межах 4,85...4,87, далі відзначається повільне зниження значень рН для всіх зразків до кінцевих 4,65...4,70 на 30-у добу ферментації. Збільшення дозування стартової культури призводить до незначного зниження значень рН. Зрозуміло, що зі збільшенням дози стартової культури зростає початкова кількість життєздатних клітин мікроорганізмів у середовищі, ферментація починається раніше та відбувається інтенсивніше. При цьому прискорюється продукування органічних кислот, що зумовлює більш швидке зниження рН хумусу із більшою дозою стартової культури. Причини повільного накопичення органічних кислот під час ферментації хумусу пов'язані із біохімічними особливостями бобової сировини, оскільки молочнокислі бактерії метаболізують переважно моно- і дисахариди (глюкоза, мальтоза, лактоза тощо), які в нуті та хумусі присутні в незначній кількості. Досить щільна структура хумусу також перешкоджає швидкому поши-

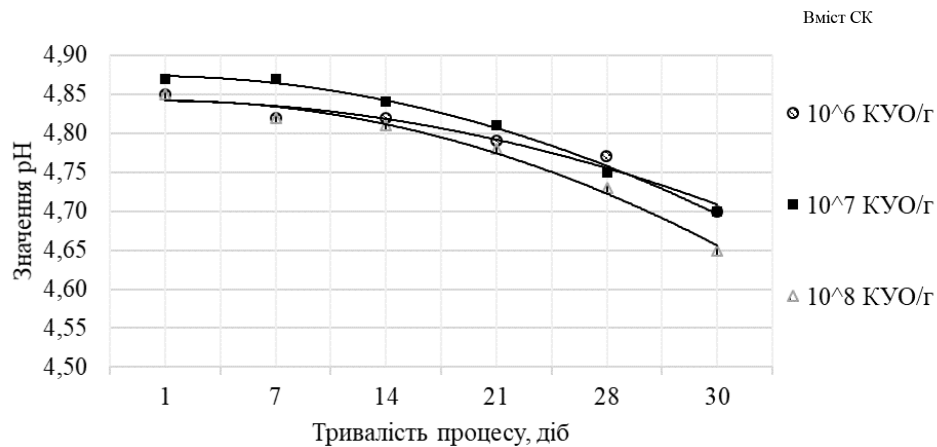


Рис. 1. Динаміка зміни рН хумусу в процесі ферментації залежно від дози стартової культури

ренню мікроорганізмів і метаболітів. Ще одним важливим чинником є температура ферментації, яка значно нижча за оптимальну для *Lactobacillus rhamnosus* (35...40 °С), але відповідає технологічному завданню «холодної ферментації» для подовження терміну зберігання продукту.

З огляду на незначні відмінності в значеннях рН за різного дозування стартової культури встановлюємо раціональну концентрацію, яка становить $1 \cdot 10^7 \dots 1 \cdot 10^8$ КУО/г.

На наступному етапі досліджували вплив температури ферментації на зміни рН дослідних зразків хумусу (2) впродовж 30 діб за дозування стартової культури $1 \cdot 10^7$ КУО/г. Орієнтовними значеннями залишається рН 4,7...4,8.

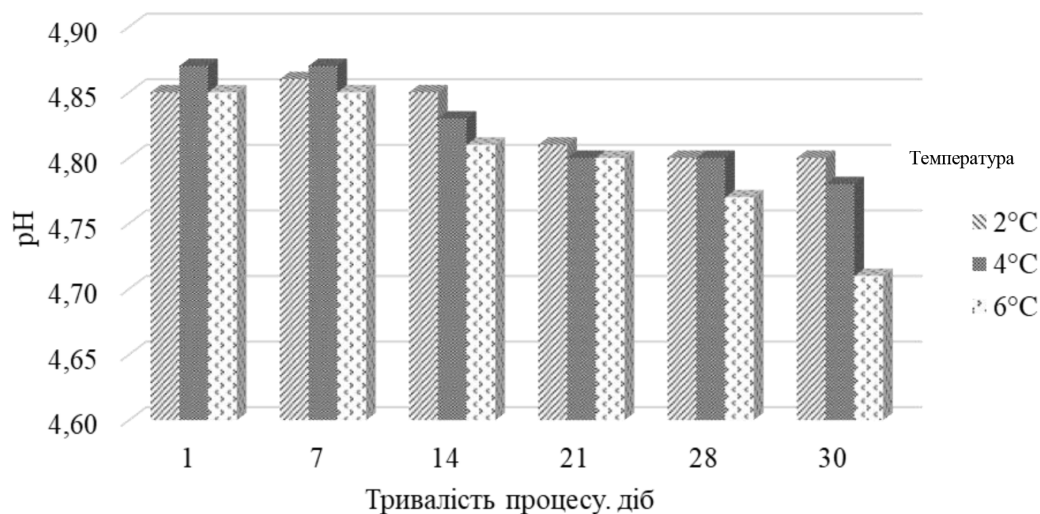


Рис. 2. Динаміка зміни рН у процесі ферментації залежно від температури

У період з 7-ої до 21-ої доби для всіх дослідних зразків хумусу встановлено подальше зниження рН, що зумовлено триваючим метаболізмом внесених культур *Lactobacillus rhamnosus* та *Lactococcus lactis* внаслідок повільного молочнокислого бродіння, що супроводжується накопиченням органічних кислот, насамперед молочної.

Зразок, ферментований за температури 6 °С, характеризувався більш інтенсивним приростом кислотності порівняно зі зразками, що ферментувалися за 2 та 4 °С. Така закономірність пояснюється тим, що температура 6 °С є більш сприятливою для збереження метаболічної активності *Lactobacillus rhamnosus* та *Lactococcus lactis*. За цієї температури не відбувається глибокого інгібування гліколітичних ферментів, транспорту субстратів крізь клітинну мемб-

рану та синтезу органічних кислот. Натомість за 2...4 °С у клітин спостерігаються прояви холодового стресу, що призводить до пригнічення кислотоутворювальної здатності.

На пізньому етапі ферментолізу (21-а...30-а доба) рН дослідних зразків зменшується незначно через те, що молочнокислі бактерії *Lactobacillus rhamnosus* та *Lactococcus lactis* вичерпують більшу частину легкозброджуваних субстратів, що уповільнює подальше утворення органічних кислот. Крім того, накопичення молочної кислоти призводить до зниження метаболічної активності мікроорганізмів та переходу їх у стаціонарну фазу, білково-мінеральна буферна система нутової пасти стабілізує кислотність, уповільнюючи подальші зміни рН. Сукупність цих процесів формує характерне «плато» кислотності після 21-ої доби.

Таким чином, встановлено, що варіювання температури ферментації хумусу в межах 2...6 °С не спричиняє статистично значущих відмінностей у динаміці накопичення органічних кислот, загальна інтенсивність кислотоутворення залишається порівняно стабільною, що свідчить про низьку температурну чутливість бактерій в умовах холодної ферментації.

Раніше було визначено, що ефективність ферментолізу, окрім зміни значень рН, також характеризується інтенсивністю накопичення смако-ароматичних речовин, зокрема діацетилу, який є побічним метаболітом молочнокислих бактерій. Тому на наступному етапі досліджували динаміку накопичення діацетилу залежно від температури за сталого дозування стартової культури (рис. 3).

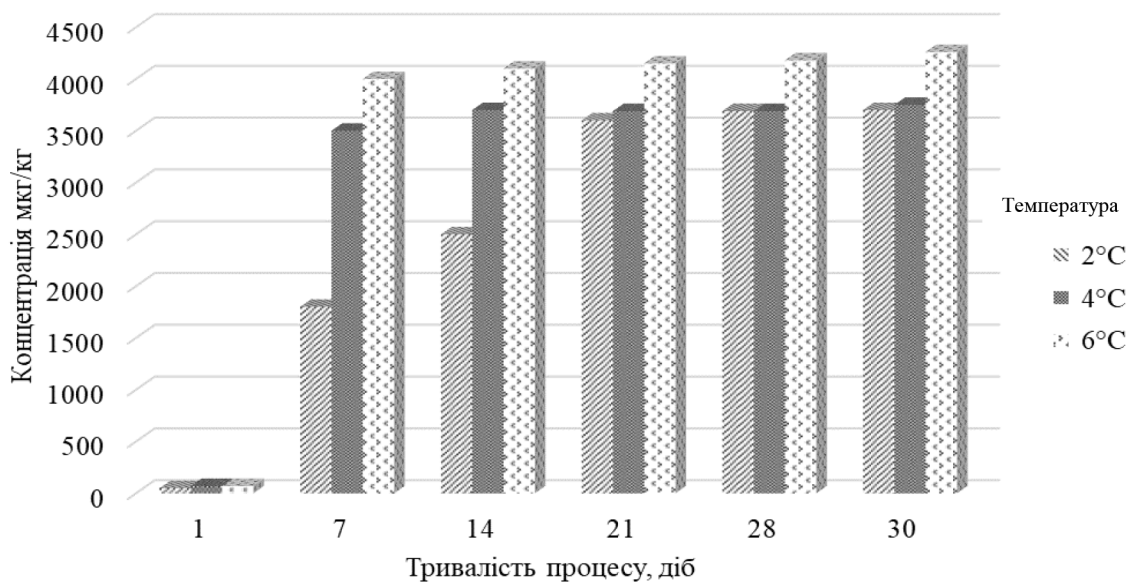


Рис. 3. Динаміка накопичення діацетилу в процесі ферментації залежно від температури за дозування стартової культури $1 \cdot 10^7$ КУО/г

За результатами проведених досліджень встановлено, що для всіх дослідних зразків хумусу характерним є інтенсивне накопичення діацетилу протягом перших 7 днів ферментації, коли його концентрація зростає з 50 до 1800...4000 мг/кг за різних температур процесу. Така динаміка зумовлена високою метаболічною активністю *Lactococcus lactis* та *Lactobacillus rhamnosus* на початковій стадії процесу, коли мікроорганізми активно метаболізують цитрат і піровиноградну кислоту, що призводить до інтенсивного утворення діацетилу як побічного продукту окиснення ацетоїну.

У подальші періоди ферментації швидкість синтезу діацетилу суттєво знижується, його концентрація поступово досягає плато (3600...4200 мг/кг на 21-у добу). Це пов'язано зі зменшенням концентрації доступних для мікроорганізмів субстратів (цитрату та відповідних проміжних метаболітів), зниженням активності культур через накопичення органічних кислот та зменшення рН, а також частковим перетворенням діацетилу на ацетоїн та 2,3-бутандіол уна-



слідок редуцтазної активності бактерій. На пізній стадії (після 21-ої доби) біосинтез діацетилу стабілізується, що проявляється у відсутності суттєвих змін його концентрації.

У дослідних зразках хумусу, які ферментувалися за температури 6 °С, накопичення діацетилу було більш інтенсивним, ніж за менших температур. Це пояснюється тим, що за температури 6 °С бактерії перебувають у повільно активному стані, зберігають метаболічну активність за меншого холодового стресу, який спостерігається за 2 та 4 °С. Це сприяє більш стабільному і поступовому утворенню діацетилу.

Висновки. Встановлено, що застосування стартових культур *Lactobacillus rhamnosus* та *Lactococcus lactis* є доцільним для ферментації хумусу в умовах низькотемпературного режиму, що забезпечує стабільний перебіг мікробіологічного процесу та покращення сенсорних характеристик продукту. Показано, що варіювання дози стартової культури в межах $1 \cdot 10^6 \dots 1 \cdot 10^8$ КУО/г не призводить до суттєвих відмінностей у кінцевих значеннях рН, однак впливає на інтенсивність початкового етапу ферментації. Рационально визначено концентрацію $1 \cdot 10^7 \dots 1 \cdot 10^8$ КУО/г.

Встановлено, що ферментація хумусу за температури 2...6 °С характеризується повільним зниженням кислотності та формуванням плато рН після 21-ої доби, що зумовлено особливостями бобової сировини, обмеженою кількістю легкозброджуваних вуглеводів та буферною здатністю продукту. Доведено, що температура ферментації впливає на накопичення діацетилу: найбільш інтенсивне його утворення спостерігається за температури 6 °С, що пов'язано з вищою метаболічною активністю молочнокислих бактерій порівняно з умовами 2...4 °С. Встановлено, що основне накопичення діацетилу відбувається протягом перших 7 діб ферментації, після чого його концентрація стабілізується внаслідок вичерпання субстратів та переходу мікроорганізмів у стаціонарну фазу росту.

Отримані результати підтверджують можливість керованого формування смако-ароматичного профілю хумусу шляхом регулювання параметрів холодної ферментації та створюють наукове підґрунтя для впровадження ферментованого хумусу у виробництво функціональних і крафтових харчових продуктів.

Список використаних джерел

1. Hummus Market Size, Growth & Trends Report (2023–2030). *Grand View Research*. 2025. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/hummus-market-report>.
2. Чебаненко Є. В., Мельник О. Ю. Огляд інноваційних методів обробки бобових культур та їх вплив на харчову цінність і функціональні властивості. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. 2024. № 4(58). С. 69–74. DOI: <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.4.10>
3. Emkani M., Oliete B., Saurel R. Effect of lactic acid fermentation on legume protein properties: a review. *Fermentation*. 2022. Vol. 8, № 6. Art. 244. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation8060244>
4. Ayivi R., Gyawali R., Krastanov A. et al. Lactic acid bacteria: food safety and human health applications. *Dairy*. 2020. Vol. 1. P. 202–232.
5. Pereira G. V. M., De Carvalho Neto D. P., Junqueira A. C. D. O. et al. A review of selection criteria for starter culture development in the food fermentation industry. *Food Reviews International*. 2020. Vol. 36. P. 135–167.
6. Semba R. D., Ramsing R., Rahman N., Kraemer K., Bloem M. W. Legumes as a sustainable source of protein in human diets. *Global Food Security*. 2021. Vol. 28. Art. 100520.
7. Ren Y., Li L. Effects of extracellular proteases and its inhibitors on the gel characteristics of soy protein induced by lactic acid bacteria. *International Journal of Food Science & Technology*. 2022. Vol. 57. P. 1587–1597.
8. Emkani M., Oliete B., Saurel R. Pea protein extraction assisted by lactic fermentation: impact on protein profile and thermal properties. *Foods*. 2021.
9. Ritter S. W., Thiel Q. P., Gastl M. I. et al. Optimizing the fermentation parameters in the lactic acid fermentation of legume-based beverages: a statistically based approach. *Microbial Cell Factories*. 2024. Vol. 23. Art. 253. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-024-02522-x>



10. Demarinis C., Verni M., Pinto L., Rizzello C.G., Baruzzi F. Use of selected lactic acid bacteria for the fermentation of legume-based water extracts. *Foods*. 2022. Vol. 11. Art. 3346. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11213346>

11. Illarionova V., Ciprovica I., Kruma Z., Tomson L., Feldmane J., Zagorska J. Impact of fermentation patterns on functional properties of legume-based spreads. *LWT Food Science and Technology*. 2025. Vol. 228. Art. 118099. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118099>

12. Гніцевич В., Доронін К. Обґрунтування вибору стартових культур для виробництва ферментованого хумусу. *Товарознавство. Технології. Інжиніринг*. 2025. № 3(55). С. 73–83. DOI: [https://doi.org/10.31617/2.2025\(55\)05](https://doi.org/10.31617/2.2025(55)05)

Дата першого надходження статті до видання: 15.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 08.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



V. Gnitsevych, K. Doronin

State University of Trade and Economics

STUDY OF THE PARAMETERS OF THE HUMUS FERMENTATION PROCESS WITH STARTER CULTURES

Summary

The article presents the results of a comprehensive study of the controlled fermentation process of hummus using lactic acid bacteria starter cultures aimed at substantiating rational technological parameters and ensuring stable quality characteristics of the final product. The relevance of the study is driven by the growing global demand for fermented plant-based foods with functional and vegan orientation, as well as by the insufficient scientific knowledge regarding fermentation processes of paste-like legume-based products, particularly hummus. Traditional hummus production technology does not involve controlled fermentation, which limits the possibilities for regulating its physicochemical, microbiological, and sensory properties.

The aim of the study was to scientifically substantiate and experimentally determine rational parameters of the hummus fermentation process using *Lactobacillus rhamnosus* and *Lactococcus lactis* starter cultures under low-temperature (cold fermentation) conditions. The effects of starter culture dosage, fermentation temperature, and process duration on pH dynamics and the accumulation of flavor-active compounds, particularly diacetyl, were investigated as key indicators of fermentation efficiency and consumer acceptability.

Experimental studies were conducted using starter culture dosages in the range of $1 \cdot 10^6$ to $1 \cdot 10^8$ CFU/g, fermentation temperatures of 2...6 °C, and a process duration of up to 30 days. The results demonstrated that hummus fermentation is characterized by a slow decrease in pH values, which is attributed to the biochemical characteristics of chickpea-based raw materials, the limited content of readily fermentable carbohydrates, and the high buffering capacity of the product. It was established that variation in starter culture dosage does not cause significant differences in final pH values; however, it affects the intensity of the initial fermentation stage. A starter culture concentration of $1 \cdot 10^7$... $1 \cdot 10^8$ CFU/g was identified as optimal.

The study confirmed that fermentation temperature significantly influences diacetyl accumulation. The most intensive diacetyl formation was observed at 6 °C, which is associated with higher metabolic activity of lactic acid bacteria under reduced cold stress compared to lower temperatures. It was found that the main accumulation of diacetyl occurs during the first 7 days of fermentation, after which its concentration stabilizes due to substrate depletion and the transition of microorganisms to the stationary growth phase.

The obtained results confirm the feasibility of using starter cultures for the controlled formation of the flavor and aroma profile of hummus and provide a scientific basis for the implementation of fermented hummus technology in the production of functional and craft food products.

Keywords: lactic acid fermentation, legumes, cold fermentation, acidity, diacetyl, aroma profile, functional product, paste-like systems.