

**ВПЛИВ pH-КОРИГУЮЧОЇ ОБРОБКИ НА ТЕХНО-ФУНКЦІОНАЛЬНІ  
ВЛАСТИВОСТІ ІЗОЛЯТУ БІЛКА ЛЮПИНУ****Курмакова Ірина Миколаївна**

доктор технічних наук, професор  
Національний університет «Чернігівський колегіум»  
імені Т. Г. Шевченка, м. Чернігів, Україна  
ORCID: 0000-0002-8916-6546  
i.kurmakova@gmail.com

**Бондар Олена Сергіївна**

кандидат технічних наук, доцент  
Національний університет «Чернігівський колегіум»  
імені Т. Г. Шевченка, м. Чернігів, Україна  
ORCID: 0000-0002-9612-0546  
bondar4elena@gmail.com

**Гринченко Наталя Геннадіївна**

доктор технічних наук, професор  
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна  
ORCID: 0000-0002-8440-0727  
tatagrin1201@gmail.com

**Головко Тетяна Миколаївна**

доктор технічних наук, професор  
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна  
ORCID: 0000-0001-7059-3620  
golovko.tatyana@gmail.com

**Жеребкін Максим Васильович**

доктор філософії, старший викладач  
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна  
ORCID: 0000-0001-8365-0495  
zherebkin.maxim@gmail.com

**Василенко Ольга Олександрівна**

кандидат технічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-1643-0702  
vasylenko.sumy@gmail.com

*Пошук стійких та ефективних джерел рослинного білка є пріоритетним завданням в умовах глобальної трансформації харчових систем. Білий люпин (*Lupinus albus*) є однією з найбільш перспективних агрокультур завдяки високому вмісту протеїну. Однак нативні ізоляти люпину широко не використовують у промисловому масштабі через їхні низькі техно-функціональні властивості. Щільна четвертинна структура глобулярних білків та явище «ізоелектричної пам'яті» перешкоджають гідратації та емульгуванню. Мета роботи – оцінити вплив технології структурної модифікації (pH-shifting) на фізико-хімічні та поверхнево-активні властивості ізоляту білка люпину. Використано метод лужної обробки, який індукує розгортання білкових глобул шляхом короткочасної експозиції дисперсії при pH 12,0 з подальшою нейтралізацією до pH 7,0. Нативні (LPI) та модифіковані (PHLPI) ізоляти порівняли за розчинністю, водо- (WHC) та жируотримуючою здатністю (OHC), індексом емульгуючої активності (EAI) та стабільністю емульсії (ESI). Встановлено, що модифікація не призводить до руйнування макронутрієнтів: вміст білка залишився >91 %, хоча зросла зольність (з 3,75 % до 4,76 %). Розчинність зросла з 79,60 % до 93,63 % ( $p < 0,05$ ). Це пов'язано з електростатичним відштовхуванням, яке викликає дисоціацію жорстких гексамерних структур  $\alpha$ -конглютину та перехід у гнучкий стан «розплавленої глобули». Розгортання структури та експонування гідрофобних доменів покращило реологічні характеристики: WHC зріс в 1,45 рази (до 3,92 г/г), а OHC – в 1,6 рази (до 3,17 г/г). Найбільш помітна динаміка зафіксована в емульгуванні: EAI зріс на 59 % (до 85,47 м<sup>2</sup>/г), а ESI – майже вдвічі (48,17 хв). Модифікований білок створює ефективний стеричний бар'єр, утворюючи міцну в'язко-еластичну плівку. pH-модифікований ізолят може стати високофункціональним інгредієнтом, здатним конкурувати з тваринними білками. PHLPI*

є перспективним агентом для систем «чистої етикетки» у рецептурах рослинних аналогів молока, соусів і м'яса завдяки високій розчинності та емульгуючій здатності.

**Ключові слова:** ізолят білка люпину, рН-коригування, розчинність білка, емульгуючі властивості, модифікація рослинних білків, альтернативні білки, їжа майбутнього.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2026.1.8>

**Вступ.** Хоча забезпечення продовольчої безпеки стає все більш важливим завдяки зростанню населення в усьому світі та змінам клімату, харчова промисловість змушена переосмислити свої стратегії щодо джерел нутрієнтів (Onyeaka et al., 2023). Стале виробництво рослинних білків суттєво відрізняється від інтенсивного тваринництва, яке має значний вплив на навколишнє середовище (Leip et al., 2015). Згідно з дослідженнями, споживачі стають все більш готовими купувати альтернативні харчові продукти, якщо вони відповідають їхнім очікуванням щодо смаку та текстури (Yang et al., 2025). Це стимулює дослідження та розробку нових видів альтернативних протеїнів (Helikh & Filon, 2025a; Helikh & Filon, 2025b; Navarré et al., 2025).

Рослинні білки вважаються життєво важливими для сталого розвитку (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009). Однак технологічні перешкоди часто стримують їх безпосереднє використання в харчових системах. Нативні рослинні ізоляти, на відміну від тваринних білків, часто мають низьку розчинність і специфічний сенсорний профіль, що було детально описано на прикладах інших бобових культур, таких як соя (van den Berg et al., 2022; Partanen et al., 2025) та нут (Zhang et al., 2023; Morales-Olán et al., 2025). Таким чином, головним завданням сучасної харчової хімії є пошук методів модифікації, які можуть розкрити потенціал техно-функціональних можливостей рослинної сировини (Patil et al., 2024).

Представники роду *Lupinus*, або люпин, є найбільш перспективними джерелами білка. Люпин є вигідною сировиною для отримання ізолятів завдяки високому вмісту білка в насінні (до 40 %) і великій кількості харчових волокон (Lo et al., 2021). Здатність бути ефективною агрономічною альтернативою сої, а також її широка доступність по всій Європі є важливими перевагами цієї культури (Szczepański et al., 2022). Тим не менш, ізолят білка люпину (ІБЛ) не так широко використовується в промисловому масштабі через брак інформації про його поведінку в колоїдних системах і необхідність покращення його емульгуючих властивостей (Schlegel et al., 2019; Lo et al., 2021).

Для точного прогнозування змін функціональності потрібно враховувати молекулярну структуру білків *Lupinus albus*, які належать до суперроду купінів. Глобуліни займають значну частину, що становить до 90 % (Lo et al., 2021). Серед них  $\alpha$ -конглютини (11S, легуміно-подібні) і  $\beta$ -конглютини (7S, віціліно-подібні) є найпоширенішими (Lo et al., 2021). Нативна четвертинна структура  $\alpha$ -конглютину відома як термічно стабільна, але її щільна упаковка обмежує взаємодію з водою та ліпідами в нейтральному середовищі. Таким чином, контрольована дестабілізація цих глобулярних структур для покращення їх поверхневої активності є основним завданням модифікації.

Відомо, що функціональні властивості білків, такі як розчинність і здатність утримувати воду та жир, значною мірою залежать від їхньої конформації. Удосконалення цих показників успішно досягається за допомогою різноманітних методів модифікації, зокрема ультразвукової обробки та ензимної дії (Zhang et al., 2022; Chen et al., 2024). Метод коригування рН, також відомий як рН-shifting, є особливо важливим. Це нетермічний спосіб обробки, який полягає в тому, щоб змінити структуру білкової глобули (викликати розгортання) при екстремальних значеннях рН, перш ніж відновити її до нейтрального стану. Дослідження показали, що цей метод ефективний для покращення розчинності та емульгуючих властивостей білків гороху (Zhang et al., 2022) і гарбузового насіння (Gao et al., 2022).

З іншого боку, недостатньо досліджень про вплив рН-коригуючої обробки на ізолят білка люпину, особливо щодо порівняння змін поверхневої активності та реологічних характеристик. Мета дослідження полягає в тому, щоб оцінити вплив технології рН-коригування (рН-shifting) на фізико-хімічні та техно-функціональні властивості ізоляту білка люпину.

Для досягнення мети були визначені наступні завдання:

1. Отримати ізолят білка люпину та модифікувати його за допомогою корекції рН.
2. Дослідити, як модифікація впливає на розчинність білка та здатність його утримувати вологу (WHC) і жир (ОНС).
3. Визначити зміни емульгуючих властивостей модифікованого ізоляту порівняно з нативною формою (індекс емульгуючої активності та стабільність емульсії).

#### **Матеріали і методи досліджень**

##### **Матеріали**

Для виробництва білкового ізоляту використовували знежирене борошно люпину білого (*Lupinus albus*), яке було придбано у сертифікованого постачальника харчових інгредієнтів. Використовували рафіновану соняшникову олію (ТМ «Олейна», Україна), яку придбали в місцевій торговельній мережі, щоб визначити її здатність утримувати жир і емульгувати. Усі хімічні реактиви, такі як NaOH, HCl і буферні компоненти, які використовувалися як для екстракції, так і для аналізу, мали ступінь аналітичної чистоти.

##### **Отримання та модифікація ізоляту білка люпину (ІБЛ)**

Нативний ізолят білка люпину (LPI) було отримано шляхом лужної екстракції, після чого його осаджували в ізоелектричній точці. У співвідношенні 1:15 (w/v) борошно розчинили у дистильованій воді, а рН встановили до 9,0 за допомогою 1 M NaOH. Потім протягом години розчин перемішували при кімнатній температурі. Після центрифугування (4000 g, 20 хв) було отримано

супернатант. Для осадження білків рН підвищили до 4,5 за допомогою 1 М НСІ. Центрифугуванням осад відокремили, промивали та нейтралізували до рН 7,0.

Для отримання модифікованого зразка (PHLPI) було використано метод рН-коригування. У результаті отриману білкову дисперсію доводили до рН 12,0 і витримували протягом години, щоб викликати розгортання білкових глобул. Після інкубації рН розчину швидко знижувався до нейтрального значення (рН 7,0), що сприяло формуванню модифікованої третинної структури, також відомої як рефолдинг (Gao et al., 2022). Обидва зразки, нативний і модифікований, піддавалися ліофільному висушуванню перед зберіганням у герметичній тарі при температурі 4 °С.

#### Аналіз функціональних властивостей ізоляту Розчинність білків (Protein Solubility, PS)

Розчинність визначали згідно з модифікованим методом (Morr et al., 1985). Протягом 30 хвилин на магнітній мішалці перемішували 1 % водну дисперсію ізоляту. Після центрифугування (4000 г, 20 хв) використовували стандарт бичачого сироваткового альбуміну (BSA), щоб визначити вміст білка в супернатанті за методом Бредфорда (Bradford, 1976). Розчинність (%) визначалася як відношення вмісту розчинного білка до загального вмісту білка в зразку.

#### Водоутримуюча здатність (Water Holding Capacity, WHC)

Щоб визначити WHC, використовується метод (Quinn & Paton, 1979). У попередньо зваженій центрифужній пробірці зразок білка (0,5 г) змішували з 10 мл дистильованої води. На вібраційному струшувачі суспензію перемішували протягом однієї хвилини. Потім витримували при кімнатній температурі тридцять хвилин. Після центрифугування (3000 г, 20 хв) надосадову рідину зливали, а вологий осад зважували в пробірці. Утримана вода на грам сухого білка (WHC) вказується в г/г.

#### Жироутримуюча здатність (Oil Holding Capacity, OHC)

Згідно з методом (Lin et al., 1974), визначення ОНС проводилося за допомогою рафінованої соняшникової олії замість дистильованої води. Результати були

представлені в грамах утриманої олії на грам сухого білка (г/г).

#### Емульгуючі властивості

Індекс емульгуючої активності (EAI, м<sup>2</sup>/г) і індекс стабільності емульсії (ESI, хв) були визначені за допомогою турбідиметричного підходу за (Pearce & Kinsella, 1978). Для створення емульсії 15 мл 0,1 % білкового розчину та 5 мл соняшникової олії змішували протягом 1 хв при 10000 об/хв. Після гомогенізації аліквоту емульсії (50 мкл) відбирали негайно, а через десять хвилин її розводили у 5 мл 0,1 % розчину додецилсульфату натрію (SDS). Вимірювання оптичної густини проводилися на довжині хвилі 500 нм. Розрахунки проводилися відповідно до формул (Pearce & Kinsella, 1978).

#### Хімічний склад ізоляту

Стандартні методи AOAC були використані для визначення загального хімічного складу ізолятів (AOAC International, 2022). Вміст білка визначався методом К'ельдаля (N × 6,25) (Kjeldahl, 1883), вміст жиру визначався методом Сокслета (Soxhlet, 1879), а вологу видаляли висушуванням до постійної маси при 105 °С.

#### Статистичний аналіз

Кожне аналітичне вимірювання проводилося тричі (n = 3). Результати показані як середнє значення ± стандартне відхилення (SD). Однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) з апостеріорним тестом Тьюкі використовувався для визначення статистично значущої різниці між нативним і модифікованим зразками (p < 0,05). Програмне середовище R (версія 4.5.1) використовувалося для обробки даних.

#### Результати

Вплив обробки методом рН-коригування (pH-shifting) на хімічний склад та техно-функціональні властивості ізоляту білка люпину представлено в таблиці 1.

Аналіз хімічного складу показав, що модифікація не призвела до значної втрати нутрієнтів. Вміст білка в обох зразках перевищував 90 % (92,80 % для LPI та 91,67 % для PHLPI) без статистично значущої різниці. Вміст ліпідів також був стабільний. З іншого боку, вміст золи у модифікованому зразку достовірно зріс з 3,75 % до 4,76 % (p < 0,05). Усі досліджувані параметри значно

Таблиця 1

#### Хімічний склад та функціональні властивості нативного (LPI) та модифікованого (PHLPI) ізолятів білка люпину

Показник	Нативний ІБЛ (LPI)	рН-модифікований ІБЛ (PHLPI)
<b>Хімічний склад</b>		
Білок, %	92,80±1,85 <sup>a</sup>	91,67±2,15 <sup>a</sup>
Ліпіди, %	2,22±0,48 <sup>a</sup>	2,43±0,44 <sup>a</sup>
Зола, %	3,75±0,24 <sup>a</sup>	4,76±0,56 <sup>b</sup>
<b>Функціональні властивості</b>		
Розчинність (PS), %	79,60±3,64 <sup>a</sup>	93,63±2,96 <sup>b</sup>
Водоутримуюча здатність (WHC), г/г	2,70±0,14 <sup>a</sup>	3,92±0,16 <sup>b</sup>
Жироутримуюча здатність (OHC), г/г	1,98±0,15 <sup>a</sup>	3,17±0,31 <sup>b</sup>
Індекс емульгуючої активності (EAI), м <sup>2</sup> /г	53,70±2,02 <sup>a</sup>	85,47±9,30 <sup>b</sup>
Індекс стабільності емульсії (ESI), хв	25,00±3,84 <sup>a</sup>	48,17±2,35 <sup>b</sup>

<sup>a</sup>Різні літери (a, b) у межах одного рядка вказують на статистично значущу різницю (p < 0,05).

покращилися завдяки обробці методом рН-коригування. Розчинність білка зросла з 79,60 % до 93,63 %, що є важливим показником для колоїдних систем. Водоутримуюча здатність (WHC) зросла в 1,45 рази (з 2,70 до 3,92 г/г), а жирутримуюча здатність (OHC) зросла в 1,6 рази (з 1,98 до 3,17 г/г). Поверхнево-активні властивості продемонстрували найбільший ефект. Індекс емульгуючої активності (EAI) зріс на 59 % до 85,47 м<sup>2</sup>/г, а стабільність емульсії (ESI) зросла майже вдвічі (з 25,00 до 48,17 хв). Усі відмінності у функціональних властивостях між нативним і модифікованим зразками були статистично значущими ( $p < 0,05$ ).

**Обговорення.** Результати дослідження підтверджують гіпотезу про те, що структурна модифікація шляхом рН-коригування є ефективним засобом для функціоналізації рослинних білків. Стійкість вмісту ліпідів і білків свідчить про те, що короткочасна експозиція при рН 12,0 не призводить до втрати ліпідної фракції або гідролізу пептидних зв'язків до коротких пептидів. Очікуваним наслідком утворення солей (NaCl) під час нейтралізації кислоти та лугу в процесі модифікації є достовірне збільшення вмісту золи у зразку PHLPI. Це відповідає даним інших дослідників (Gao et al., 2022).

Зростання рівня розчинності є значним досягненням. Явище «ізоелектричної пам'яті» є причиною низької розчинності нативного ізоляту (79,60 %), оскільки агрегати білків, сформовані під час кислотного осадження (рН 4,5), не повністю руйнуються при простій нейтралізації. Натомість гексамерні структури  $\alpha$ -конглютину та тримери  $\beta$ -конглютину дисоціюють на субодиниці через сильне електростатичне відштовхування, спричинене екстремально лужним середовищем (рН 12,0) (Lo et al., 2021). Після нейтралізації блок переходить у метастабільний стан «розплавленої глобули». У цьому стані молекула зберігає свою вторинну структуру, але її третинна упаковка більш пухка, що сприяє кращій гідратації та розчинності (Zhang et al., 2022).

Розгортання білкової глобули пов'язане з ростом WHC та OHC. У результаті цього процесу експонуються гідрофільні та гідрофобні групи, які в нативному стані були приховані всередині щільної структури конглютинів. Таке розпушення структури білків люпину створює капілярну матрицю, здатну фізично утримувати більше води та жиру. У результаті модифікований ізолят може бути

використаний для створення соковитих м'ясних аналогів (Chen et al., 2024). Показники емульгування (EAI та ESI) показали найвищу динаміку. Це пояснюється більшою гнучкістю модифікованих молекул. Дисоційовані субодиниці краще знижують поверхневий натяг і швидше дифундують до межі поділу фаз «олія-вода». Утворення міцної в'язко-еластичної плівки на поверхні жирових крапель свідчить про високу стабільність емульсії (48,17 хв). Ця плівка служить стеричним бар'єром, який запобігає коалесценції (Pearce & Kinsella, 1978; Patil et al., 2024).

Отже, на основі отриманих даних можна стверджувати, що рН-модифікований ізолят білка люпину (PHLPI) перетворюється з простого джерела нутрієнтів на високоефективний технологічний компонент, який може бути використаний у складних харчових дисперсіях (Navarre et al., 2025).

**Висновки.** 1. Дослідження показали, що обробка методом рН-коригування (рН-shifting) є високоефективним методом модифікації нативних глобулярних білків *Lupinus albus*. Короткочасний вплив лужного середовища (рН 12,0) з подальшою нейтралізацією дозволив подолати проблему низької розчинності нативних ізолятів. При нейтральному рН розчинність білка зросла з 79,60 % до 93,63 % ( $p < 0,05$ ). Це пов'язано з дисоціацією щільних четвертинних структур конглютинів і переходом молекул у більш гнучкий стан «розплавленої глобули».

2. Поверхнево-активні та гідратаційні властивості модифікованого ізоляту (PHLPI) значно покращилися. Індекс емульгуючої активності (EAI) зріс на 59 % (до 85,47 м<sup>2</sup>/г), а стабільність емульсії (ESI) зросла майже вдвічі (до 48,17 хв). Крім того, було зафіксовано зростання водоутримуючої здатності в 1,45 рази (до 3,92 г/г) і жирутримуючої здатності в 1,6 рази (до 3,17 г/г).

3. Результати показують, що рН-модифікований ізолят білка люпину може бути перспективним функціональним інгредієнтом для харчової промисловості. PHLPI може бути використаний як заміна синтетичних емульгаторів або тваринних білків (казеїнату) у рецептурах рослинних аналогів молока, соусів та емульсійних м'ясних продуктів, відповідаючи принципам сталого розвитку та «чистої етикетки». Це можливо завдяки його високій розчинності та здатності створювати стабільні емульсії.

#### Бібліографічні посилання:

1. AOAC International. (2022). *Official methods of analysis of AOAC International* (21st ed., 2nd rev.).
2. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
3. Chen, Q., Guan, J., Wang, Z., Wang, Y., Wang, X., & Chen, Z. (2024). Improving the Gelation Properties of Pea Protein Isolates Using Psyllium Husk Powder: Insight into the Underlying Mechanism. *Foods*, 13(21), 3413. <https://doi.org/10.3390/foods13213413>
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). *How to feed the world in 2050*. Proceedings of the Expert Meeting on How to Feed the World in 2050.
5. Gao, D., Helikh, A., Filon, A., Duan, Z., & Vasilenko, O. (2022). Effect of pH-shifting treatment on the gel properties of pumpkin seed protein isolate. *Journal of Chemistry and Technologies*, 30(2), 198–204. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i2.241145>
6. Helikh, A., & Filon, A. (2025a). Study of the amino acid profile of alternative proteins (*Helix pomatia*, *Lissachatina fulica*, *Helix aspersa*) and their potential application in a healthy diet: optimization of a modern Brandade recipe. *Technology Audit and Production Reserves*, 2(3(82)), 71–79. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.326896>

7. Helikh, A., & Filon, A. (2025b). Nanocomposite biopolymer coating with  $\beta$ -nanochitosan for preserving snail fillets: A synergistic antimicrobial system with *Monarda punctata* oil. *2025 IEEE 15th International Conference "Nanomaterials: Applications & Properties" (NAP)*. Bratislava, Slovakia. <https://doi.org/10.1109/NAP68437.2025.11216270>
8. Kjeldahl, J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22(1), 366–382. <https://doi.org/10.1007/BF01338151>
9. Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S., ... & Weiss, F. (2015). Impacts of European livestock production: Nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environmental Research Letters*, 10(11), 115004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/115004>
10. Lin, M. J., Humbert, E. S., & Sosulski, F. W. (1974). Certain functional properties of sunflower meal products. *Journal of Food Science*, 39(2), 368–370. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1974.tb02896.x>
11. Lo, B., Kasapis, S., & Farahnaky, A. (2021). Lupin protein: Isolation and techno-functional properties, a review. *Food Hydrocolloids*, 112, 106318. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106318>
12. Morales-Olán, G., Ríos-Corripio, M. A., Rojas-López, M., Velasco-Velasco, J., & Hernández-Cázares, A. S. (2025). Effects of flour, starch and pea (*Pisum sativum* L.) protein as fat substitutes during storage of pork sausages. *Czech Journal of Food Sciences*, 43(3), 194–204. <https://doi.org/10.17221/211/2024-CJFS>
13. Morr, C. V., German, B., Kinsella, J. E., et al. (1985). A collaborative study to develop a standardized food protein solubility procedure. *Journal of Food Science*, 50(6), 1715–1718. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb10573.x>
14. Navarré, A., Musto, L., & Nazareth, T. (2025). Beyond Meat Substitution: A Multifaceted Review of Plant-Based and Alternative Proteins, from Environmental Impact to Analytical Technologies. *Foods*, 14(13), 2312. <https://doi.org/10.3390/foods14132312>
15. Onyeaka, H., Nwaiwu, O., Oibileke, K., Miri, T., & Al-Sharif, Z. T. (2023). Global nutritional challenges of reformulated food: A review. *Food science & nutrition*, 11(6), 2483–2499. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3286>
16. Partanen, M., Liikonen, V., Väkeväinen, K., Gómez Gallego, C., & Kolehmainen, M. (2025). Digestion, Metabolism, and Health Effects of Plant Proteins and Their Food Formulations: A Systematic Scoping Review of Clinical Postprandial Studies and in vitro Methods. *Food Reviews International*, 1–30. <https://doi.org/10.1080/87559129.2025.2525430>
17. Patil, N. D., Bains, A., Sridhar, K., et al. (2024). Extraction, Modification, Biofunctionality, and Food Applications of Chickpea (*Cicer arietinum*) Protein: An Up-to-Date Review. *Foods*, 13(9), 1398. <https://doi.org/10.3390/foods13091398>
18. Pearce, K. N., & Kinsella, J. E. (1978). Emulsifying properties of proteins: Evaluation of a turbidimetric technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26(3), 716–723. <https://doi.org/10.1021/jf60217a041>
19. Quinn, J. R., & Paton, D. (1979). A practical measurement of water hydration capacity of protein materials. *Cereal Chemistry*, 56(1), 38–40.
20. Schlegel, K., Leidigkeit, A., Eisner, P., & Schweiggert-Weisz, U. (2019). Technofunctional and Sensory Properties of Fermented Lupin Protein Isolates. *Foods*, 8(12), 678. <https://doi.org/10.3390/foods8120678>
21. Soxhlet, F. (1879). Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes. *Polytechnisches Journal*, 232, 461–465.
22. Szczepański, A., Adamek-Urbańska, D., Kasprzak, R., et al. (2022). Lupin: A promising alternative protein source for aquaculture feeds? *Aquaculture Reports*, 26, 101281. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101281>
23. van den Berg, L. A., Mes, J. J., Mensink, M., & Wanders, A. J. (2022). Protein quality of soy and the effect of processing: A quantitative review. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1004754. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1004754>
24. Yang, F., Ren, L., Sun, J., & Gu, C. (2025). A study of the purchase intention of alternative foods. *Scientific Reports*, 15(1), 6146. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-90014-2>
25. Zhang, J., Liu, Q., Chen, Q., Sun, F., Liu, H., & Kong, B. (2022). Synergistic modification of pea protein structure using high-intensity ultrasound and pH-shifting technology to improve solubility and emulsification. *Ultrasonics sonochemistry*, 88, 106099. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106099>
26. Zhang, Y., Huang, X., Zeng, X., Li, L., & Jiang, Y. (2023). Preparation, functional properties, and nutritional evaluation of chickpea protein concentrate. *Cereal Chemistry*, 100, 310–320. <https://doi.org/10.1002/cche.10608>

**Kurmakova I. M.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, T. G. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”, Chernihiv, Ukraine

**Bondar O. S.**, PhD, Associate Professor, T. G. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”, Chernihiv, Ukraine

**Grynchenko N. H.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

**Holovko T. M.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

**Zherebkin M. V.**, PhD, Senior Lecturer, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

**Vasylenko O. O.**, PhD, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

#### **Effect of pH-shifting treatment on the techno-functional properties of lupin protein isolate**

The search for sustainable and efficient plant protein sources is a priority task in the global food system transformation. White lupin (*Lupinus albus*) is one of the most promising crops due to its high protein content. However, the industrial application of native lupin isolates is limited by their poor techno-functional properties. The dense quaternary structure of globular proteins and the “isoelectric memory” phenomenon hinder hydration and emulsification. The study aimed to evaluate the impact of structural modification via pH-shifting on the physicochemical and surface-active properties of lupin protein isolate. An alkaline treatment method was used to induce protein globule unfolding through short-term exposure at pH 12.0 followed by neutralization to pH 7.0. Native (LPI) and modified (PHLPI) isolates were compared for solubility, water (WHC) and oil holding capacity (OHC), emulsifying activity index (EAI), and emulsion stability index (ESI). It was established that modification did not degrade macronutrients: protein content remained >91 %, although ash content increased (3.75 %

to 4.76 %). Solubility increased from 79.60 % to 93.63 % ( $p < 0.05$ ). This is attributed to electrostatic repulsion causing the dissociation of rigid  $\alpha$ -conglutin hexamers into a flexible "molten globule" state. Structural unfolding and hydrophobic domain exposure improved rheological characteristics: WHC increased 1.45-fold (to 3.92 g/g) and OHC 1.6-fold (to 3.17 g/g). The most notable dynamics were observed in emulsification: EAI increased by 59 % (to 85.47 m<sup>2</sup>/g), and ESI nearly doubled (48.17 min). The modified protein creates an effective steric barrier by forming a strong viscoelastic film. The pH-modified isolate can become a high-functionality ingredient capable of competing with animal proteins. PHLPI is a promising agent for clean-label systems in plant-based milk alternatives, sauces, and meat analogues due to high solubility and emulsifying capacity.

**Key words:** lupin protein isolate, pH-shifting, protein solubility, emulsifying properties, plant protein modification, alternative proteins, future food.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 16.02.2026  
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.03.2026  
Дата публікації (оприлюднення) статті: 05.05.2026