

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА І ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА

УДК 636.085.2.087.7

Перетравність поживних речовин та енергетична цінність гідролізованого пір'яного борошна у птиці

Отченашко В. В.^{1,2} , Черниш В. А.¹ 

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України

² Національна академія аграрних наук України

 Черниш В. А. vadimchernyshandr@gmail.com



Отченашко В. В., Черниш В. А. Перетравність поживних речовин та енергетична цінність гідролізованого пір'яного борошна у птиці. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2025. № 2. С. 13–25.

Otchenashko V., Chernysh V. Nutrient digestibility and energy value of hydrolysed feather meal in poultry. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2025. № 2. PP. 13–25.

Рукопис отримано: 30.09.2025 р.

Прийнято: 13.10.2025 р.

Затверджено до друку: 27.11.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2025-198-2-13-25

Гідролізоване пір'яне борошно є перспективним альтернативним білковим кормом для тварин, що може містити 75–90 % білка та може зменшити екологічні ризики утилізації відходів птахівництва. Ефективність та поживна цінність пір'яного борошна істотно залежать від якості вихідної сировини й технологічних особливостей його виробництва (температура, тиск та режим обробки, використання кислот, лугів або ферментів, ступінь очищення від домішок тощо). Попри значний потенціал заміни традиційних білкових кормів (соевого шроту, рибного борошна), однією з основних проблем залишається недостатня кількість досліджень та даних стосовно поживності гідролізованого пір'яного борошна для різних видів тварин, а також наявність законодавчих обмежень його використання в годівлі тварин (Регламент ЄС № 999/2001). Метою даної роботи було вивчити перетравність поживних речовин та енергетичну цінність гідролізованого пір'яного борошна у комерційних курчат-бройлерів та молодняку перепелів м'ясного напрямку продуктивності. Для дослідів відбирали по 4 голови типових курчат кросу Кобб-500 віком 24 доби (середня маса тіла 1400,8 г), молодняку перепелів породи Фараон віком 30 діб (середня маса тіла 225,0 г). Птицю утримували в індивідуальних клітках з використанням типових комбикормів для курчат-бройлерів та молодняку перепелів. Дослід з вивчення перетравності корму проведено за диференційованою схемою у два послідовні цикли тривалістю 7 діб, попередній та перехідний періоди становили три доби. Перетравність пір'яного борошна вивчали шляхом заміни частини основного раціону (10 %), в складі якого було 5 % досліджуваного борошна. Пір'яне борошно, виготовлене за технологією гідротермічного гідролізу з впливом електромагнітного поля, містило 75,6 % сирого протеїну, 1,9 % сирової клітковини, 1,9 % сирого жиру, 1,4 % БЕР та виготовлялося за технологією НУБІП України. В досліді на молодняку перепелів встановлено коефіцієнт перетравності сирого протеїну на рівні $79,7 \pm 9,48$ % із середнім рівнем варіації (23,7 %). Розраховані коефіцієнти перетравності сирого жиру ($72,3 \pm 15,80$ %, CV 30,9 %), сирової клітковини ($20,3 \pm 7,35$ %, CV 51,08 %), органічної речовини ($62,1 \pm 16,13$ %, CV 44,9 %) є менш надійними у зв'язку з високою варіацією значень. Коефіцієнти видимої перетравності поживних речовин гідролізованого пір'яного борошна, визначені у досліді на курчатах-бройлерах в більшості випадків виходили за межі 0–100 %. Розраховане значення уявної обмінної енергії (молодняк перепелів) в гідролізованому пір'яному борошні становить 11,38 МДж/кг.

Ключові слова: курчата-бройлери, перепели, гідролізоване пір'яне борошно, протеїн, перетравність, метаболічна енергія, поживні речовини.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Одними з важливих напрямів наукових досліджень та інноваційної діяльності для реалізації концепції сталого тваринництва є управління відходами та формування сталих ланцюгів виробництва й постачання кормових засобів. Ці пріоритети спрямовано на вирішення як екологічних аспектів виробництва тваринницької продукції, так і вирішення проблематики виробництва біогазу, біодизелю, органічних добрив та кормових добавок. Стосовно птахівництва актуальною екологічною проблемою залишається утилізація великої кількості продуктів переробки птиці на бійнях, одним з яких є пір'я [1].

Враховуючи, що пір'я становить 3–7 % ваги живої птиці [2, 3], а також статистичні дані щодо чисельності поголів'я птиці у світі [4], прогнозовані обсяги накопичення пір'я становлять приблизно 2,8 млн т на рік.

Пір'я сільськогосподарської птиці має високий вміст білка (приблизно 84 %), але через особливості його складу воно має низьку засвоюваність в організмі тварин (5 %) [5]. Основним компонентом пір'яного білка є високо полімеризований білок -кератин, що містить близько 8 % цистеїну, який утворює міцні дисульфідні зв'язки та робить пір'яний кератин фактично неперетравлюваним [2, 6, 7, 8]. Утилізація пір'я шляхом його спалювання чи закопування в ґрунт є неприйнятним через викидання парникових газів та продуктів горіння, а також через загрози забруднення ґрунтових вод [9, 10]. Саме тому основним варіантом використання пір'я у годівлі тварин у світі є виробництво гідролізованого пір'яного борошна [8, 11, 12, 13], що дає змогу значно збільшити доступність поживних речовин. Такий корм має високий вміст білка (80–90 % сухої речовини), за вмістом якого він перевершує соєвий шрот (42,5 %) і рибне борошно (66,5 %). Крім того, за хімічного аналізу курячого пір'я визначається вміст сирого жиру (0,83 %), сирого клітковини (2,15 %), золи (1,49 %), БЕР (1,02 %) [14, 15].

На відміну від багатьох інших продуктів тваринного походження, амінокислотний профіль пір'яного борошна має значний дефіцит лізину (приблизно 2,3 % до вмісту білка проти 7–8 % у рибному борошні, 4–6 % у м'ясо-кістковому борошні та до 10 % у кров'яному борошні). Воно багате на цистин (4,6 % до вмісту білка), але бідне на метіонін (0,7 % до вмісту білка), гістидин (0,9 % до вмісту білка) та, меншою мірою, триптофан (0,6 % до вмісту білка). Амінокислотний профіль також залежить від домішок, присутніх

у пір'яному борошні (наприклад, крові), та від ступеня деградації амінокислот, спричиненої параметрами обробки [4].

Аналітичні матеріали Data Bridge Market Research демонструють, що світовий ринок пір'яного борошна сегментований на декілька груп залежно від призначення (органічний чи звичайний), вмісту сирого протеїну (75–80 %, 80–90 %, понад 90 %), напрямку використання (корми для різних видів тварин, органічні добрива, агрохімія тощо) та каналу збуту (B2B, B2C, онлайн-магазини тощо). Експерти передбачають, що ринок пір'яного борошна зросте на 5,3 % у період з 2021 по 2028 рік та сягне приблизно 3,77 млрд доларів до 2028 року. Але водночас аналітики визначають, що відсутність в окремих випадках клінічних доказів засвоюваності тваринами поживних речовин пір'яного борошна певною мірою перешкоджає більшому зростанню ринку [15].

Слід зважати, що з кожним роком технології виготовлення гідролізованого пір'яного борошна вдосконалюються та розробляються нові методи [16]. Разом з тим, більшість методів має як переваги, так і недоліки.

Основними проблемами технологій виробництва гідролізованого пір'яного борошна є руйнування деяких амінокислот у процесі термічної обробки за кислотних і лужних методів гідролізу кератину, відсутність даних щодо поживності такого корму, досліджень щодо ефективності його застосування у годівлі різних видів тварин за заміни традиційних білкових кормів. Крім того, за хімічного методу гідролізу сировини нейтралізація кислоти відбувається за допомогою солей або гіпсу, що може призвести в деяких випадках до отримання кінцевого продукту з високим вмістом солі, що негативно впливає на кінцеву якість виготовленого продукту [17, 18, 19]. Ферментативний метод міг би бути найкращим за рахунок збереження більшої кількості амінокислот в кінцевому продукті, але такий метод виробництва важко масштабувати до промислового рівня через активність ферменту та вихід розчинного кератину, який є дуже низьким [7, 16, 20, 21, 22].

Вплив гідролізованого пір'яного борошна на тварин досліджувала досить велика кількість вчених з усього світу. Досліди проведено на жуйних тваринах [23, 24, 25], свинях [26, 27], птиці [28, 29, 30], рибах [31, 32], кролях [33] та собаках [34], в яких обґрунтовувалися ефективні рівні уведення гідролізованого пір'яного борошна у раціонах для забезпечення повноцінності живлення, заміни традиційних білкових кормів або досягнення стандартного рівня продуктивності тварин.

Наявні дані щодо вивчення поживності гідролізованого пір'яного борошна значною мірою змінюються залежно від якості вихідної сировини, наявності домішок, параметрів оброблення (температура, тривалість обробки, тиск, види кислотної обробки, видалення хімічних домішок, ферментні препарати, штами мікроорганізмів тощо). Перетравність протеїну для жуйних оцінюється в діапазоні 69–85 %, для молодняку свиней – приблизно 78 %, для кролів – 40 %, значення обмінної енергії для жуйних – 13,2 МДж/кг сухої речовини, для свиней – 16,5 МДж/кг, для птиці – 12,4 МДж/кг [4].

Значення розщеплюваного білка пір'яного борошна в рубці *in situ* коливаються від 40 до 60 % [35, 36]. За даними вчених з Нігерії перетравність білка гідролізованого пір'яного борошна *in vitro* за використання різних кислот становила від $62,30 \pm 1,0$ % до $73,10 \pm 1,3$ % та була значно ($p < 0,05$) вищою порівняно з сирим пір'ям ($23,80 \pm 0,5$ %) [37].

На молодняку свиней встановлено, що стандартизована засвоюваність амінокислот в клубовій кишці (SID) для гідролізованого пір'яного борошна може дуже коливатися: були зафіксовані як низькі (< 50 %), так і високі (> 70 %) значення [38].

Виходячи із проведеного аналізу, відзначимо, що гідролізоване пір'яне борошно є перспективним альтернативним білковим кормом для тварин, оскільки воно містить високий рівень протеїну та може зменшити екологічні ризики утилізації відходів птахівництва. Разом із тим, його ефективність та поживна цінність істотно залежать від якості

тварин (Регламент ЄС № 999/2001 [39]).

Метою дослідження було вивчити перетравність поживних речовин та енергетичну цінність гідролізованого пір'яного борошна у комерційних курчат-бройлерів та молодняку перепелів м'ясного напрямку продуктивності.

Матеріал і методи дослідження. Досліди з вивчення перетравності поживних речовин проводили на базі навчально-науково-виробничої лабораторії технологій виробництва продукції птахівництва НУБІП України (м. Київ) на самцях курчат-бройлерів кросу Кобб-500 та самцях перепелів породи Фараон. Для досліду відбирали по 4 голови типових курчат віком 24 доби (середня маса тіла 1400,8 г), молодняку перепелів віком 30 діб (середня маса тіла 225,0 г). Птицю утримували в індивідуальних клітках з використанням типових комбікормів для курчат-бройлерів та молодняку перепелів. Дослідних тварин годували двічі на добу з вільним доступом до води.

Дослід з вивчення перетравності поживних речовин гідролізованого пір'яного борошна (ГПБ) проведено за диференційованою схемою (табл. 1) у два послідовні цикли тривалістю 7 діб, попередній та перехідний періоди становили три доби [40]. Перетравність пір'яного борошна вивчали шляхом заміни частини основного раціону, в складі якого вже було 5 % такого борошна.

Досліджуваний корм виготовляли за експериментальною технологією НУБІП України, яка захищена патентами № 125774, № 127395, № 147388, № 158661. Суть даної технології полягає у гідротермічному гідролізі пухо-пір'яної сировини у тонкому шарі з

Таблиця 1 – Схема диференційованого дослід з вивчення перетравності поживних речовин гідролізованого пір'яного борошна

Цикл дослід	Тривалість періоду, діб	Особливості годівлі
Перший	Попередній – 5	ОР (повнораціонний комбікорм, в складі якого міститься 5 % ГПБ)
	Обліковий – 7	ОР
Другий	Перехідний – 3	90 % ОР + 10 % ГПБ
	Обліковий – 7	90 % ОР + 10 % ГПБ

сировини й технологічних особливостей його виробництва. Попри значний потенціал заміни традиційних білкових кормів (соєвого шроту, рибного борошна), однією з основних проблем залишається недостатня кількість досліджень та даних стосовно поживності гідролізованого пір'яного борошна для різних видів тварин, а також наявність законодавчих обмежень його використання в годівлі

впливом електромагнітного поля. Розроблено безперервний спосіб гідролізу перо-пухової сировини без попереднього подрібнення, яка забезпечує ефективний гідроліз кератину без використання хімічних реагентів: сировину з вологістю 60–80 % піддавали дії електромагнітного поля для видалення домішок та зневоднювали до 35–45 % за допомогою вакуум-фільтра; у шнековій установці реалізо-

вано ущільнення (1–20 МПа), нагрів (60 °С), дію магнітного поля (0,025 Тл), двоступеневу деаерацію, подальшу термообробку за температури 180–260 °С (110 с) та індукцію 0,065 Тл; завершальним етапом є вакуумне сушіння з інтервалами 10–60 с до вологості 8–12 % [13]. Досліджуване пір'яне борошно містило 75,6 % сирого протеїну, 1,9 % сирої клітковини, 1,9 % сирого жиру, 1,4 % БЕР.

Упродовж облікових періодів дослідів на курчатах-бройлерах та молодняку перепелів визначали кількість спожитого комбікорму, кількість виділеного посліду, нез'їдених решток (щоденно). Послід збирали в індивідуальні для кожної тварини скляні банки, після чого зразки посліду консервували 10 % розчином HCL та зберігали в прохолодному місці.

Зоотехнічний аналіз отриманих зразків посліду та кормів проводили на базі науково-дослідній лабораторії живлення тварин НУБІП України за загальноприйнятими методиками: первинну вологу визначали шляхом висушування зразка у сушильній шафі за температури 60–65 °С з наступним доведенням його до повітряно-сухого стану; гігроскопічну вологу – під час висушування зразка за температури 100 °С до постійної маси; загальний азот та сирий протеїн – за методом К'ельдаля; сирий жир – методом С. В. Рушківського за кількістю знежиреного залишку в апараті Сокслета, використовуючи бензол як розчинник; БЕР – розрахунковим шляхом [41]. Для визначення перетравності протеїну корму відділення азотистих речовин калу від сечової кислоти та її солей проводили хімічним шляхом за методикою М. І. Дьякова [42]. Перетравні речовини визначали за різницею між надходженням поживних речовин з кормом та виділенням їх з калом. Обрахунок перетравності поживних речовин у диференційованому досліді – за формою відповідно до «Практикуму з годівлі сільськогосподарських тварин» [43].

Для розрахунку значення уявної обмінної енергії (УОЕ) використано традиційну формулу [43]:

$$\text{УОЕ} = (17,84 \times \text{пП} + 39,78 \times \text{пЖ} + 17,71 \times \text{пК} + 17,71 \times \text{пБЕР}) \times 10^{-3},$$

де пП – перетравний протеїн, г; пЖ – перетравний жир, г; пК – перетравна клітковина, г; пБЕР – перетравні безазотисті екстрактивні речовини, г.

Статистичне узагальнення отриманих даних проведено із застосуванням показників дескриптивної статистики: середнього арифметичного (Mean), стандартного відхилення (SD), стандартної похибки середнього (SEM) та коефіцієнту варіації (CV) [44]. Для

малої вибірки ($n \leq 30$) за розрахунку стандартного відхилення використано виправлення Бесселя, яке коригує упередженість вибіркової дисперсії за малого обсягу вибірки.

Результати досліджень та обговорення. Дані відносно індивідуальних параметрів споживання кормів та виділення посліду у курчат-бройлерів та молодняку перепелів за циклами досліду наведено у таблиці 2.

Наведені дані свідчать про наявність індивідуальних реакцій птиці на згодовування експериментальних раціонів. Зокрема, у першому циклі досліду не спостерігалось помітних відмінностей у споживанні дослідною птицею основного раціону з невеликим умістом ГПБ (5 %): бройлери в середньому за добу його споживали на рівні 108,6 г, перепели – здебільшого по 40,0 г. Разом з тим, простежувався індивідуальний характер щодо кількості виділеного посліду. Так, діапазон у перший цикл для курчат-бройлерів становив за цим параметром 87,9–118,9 г, а в другий цикл – в межах 105,8–148,0 г. У перепелів відмінності були ще більшими: у першому циклі діапазон значень за добовою кількістю виділеного посліду становив 17,7–52,5 г, у другому циклі – 17,0–52,1 г.

Подальші розрахунки перетравності поживних речовин ГПБ з урахуванням результатів зоотехнічного аналізу кормів та калу птиці представлено у таблицях 3 і 4.

У досліді на курчатах-бройлерах фінальні розрахунки, які багаторазово перевірялися разом з даними хімічного аналізу зразків, показали наявність нетипових значень коефіцієнтів перетравності (понад 100 % та від'ємні). Подібна картина під час проведення дослідів з вивчення видимої перетравності (Apparent Digestibility) фіксується у науковій літературі та розглядається як артефакт відповідних фізіологічних дослідів, особливо за використання диференційованого методу.

В аналітичному огляді V. Ravindran [45] повідомляється, що під час перетравлення корму відбувається безперервне надходження ендогенних білків у вигляді секретії травних ферментів та жовчі, виділення слизу та десквамованих ентероцитів у просвіт кишечника. Це надходження ендогенних білків є значним і, за оцінками, в чотири-п'ять разів перевищує кількість спожитих білків. Ці ендогенні джерела змішуються з кормовим білком і перетравлюються, а отримані амінокислоти всмоктуються. Саме методологія визначення ендогенних втрат є фундаментальним та дискусійним питанням, яке у перспективі може розв'язати дихотомію понять «видима» та «справжня перетравність» [45, 46].

Таблиця 2 – Кількісні параметри проведених дослідів з вивчення перетравності ГПБ у птиці за диференційованою схемою

Показник	Птиця				Mean ± SEM
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
Курчата-бройлери					
Перший цикл дослідів:					
середньодобове споживання комбікорму, г	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6 ± 0,00
середньодобове виділення послів, г	118,9	93,2	87,9	108,7	102,2 ± 7,11
Другий цикл дослідів:					
середньодобове споживання комбікорму, г	124,4	121,6	124,9	140,9	127,9 ± 4,38
середньодобове виділення послів, г	130,6	128,7	105,8	148,0	128,3 ± 8,66
Молодняк перепелів					
Перший цикл дослідів:					
середньодобове споживання комбікорму, г	33,3	40,0	40,0	40,0	38,3 ± 1,68
середньодобове виділення послів, г	32,5	50,3	17,7	52,5	38,2 ± 8,18
Другий цикл дослідів:					
середньодобове споживання комбікорму, г	28,5	36,1	39,97	39,96	36,1 ± 2,70
середньодобове виділення послів, г	30,3	41,8	17,0	52,1	35,3 ± 7,55

Таблиця 3 – Фінальні розрахунки перетравності поживних речовин ГПБ у курчат-бройлерів (n=4)

Показник	Протеїн	Жир	Клітковина	БЕР
Спожито додатково з ГПБ птицею, г:				
№ 1	9,41	0,24	0,24	0,18
№ 2	9,19	0,24	0,24	0,18
№ 3	9,44	0,24	0,24	0,18
№ 4	10,65	0,27	0,27	0,20
Mean ± SEM	9,67 ± 0,33	0,25 ± 0,01	0,25 ± 0,01	0,18 ± 0,01
Перетравлено поживних речовин у другому циклі дослідів птицею, г:				
№ 1	22,02	3,61	0,80	49,21
№ 2	20,86	3,46	0,04	46,67
№ 3	22,32	3,48	0,67	50,78
№ 4	23,46	4,09	-0,03	55,70
Mean ± SEM	22,16 ± 0,53	3,66 ± 0,15	0,37 ± 0,21	50,59 ± 1,90
У тому числі за рахунок раціону першого циклу (90 %), г:				
№ 1	11,54	2,96	0,73	43,47
№ 2	12,90	3,00	1,07	44,81
№ 3	12,37	2,88	0,94	45,35
№ 4	11,26	2,99	0,43	44,33
Mean ± SEM	12,02 ± 0,38	2,96 ± 0,03	0,79 ± 0,14	44,49 ± 0,40
Перетравлено птицею у другому циклі за рахунок заміни (10 %) основного раціону ГПБ, г:				
№ 1	10,48	0,65	0,07	5,74
№ 2	7,96	0,46	-1,03	1,86
№ 3	9,94	0,59	-0,27	5,43
№ 4	12,20	1,09	-0,46	11,37
Mean ± SEM	10,14 ± 0,87	0,70 ± 0,14	-0,42 ± 0,23	6,10 ± 1,96
Коефіцієнти перетравності поживних речовин ГПБ, %:				
№ 1	111,4	267,3	29,3	3203,7
№ 2	86,5	194,7	-435,6	1061,9
№ 3	105,3	244,3	-110,8	3017,4
№ 4	114,5	399,5	-167,7	5605,5
Mean ± SEM	104,4 ± 6,27	276,4 ± 43,7	-171,2 ± 97,37	3222,1 ± 930,47

Таблиця 4 – Фінальні розрахунки перетравності поживних речовин ГПБ у молодняку перепелів (n=4)

Показник	Протеїн	Жир	Клітковина	БЕР	Органічна речовина
Спожито додатково з ГПБ птицею, г:					
№ 1	2,15	0,06	0,06	0,04	2,31
№ 2	2,73	0,07	0,07	0,05	2,92
№ 3	3,02	0,08	0,08	0,06	3,23
№ 4	3,02	0,08	0,08	0,06	3,23
Mean ± SEM	2,73 ± 0,21	0,07 ± 0,00	0,07 ± 0,00	0,05 ± 0,00	2,92 ± 0,22
Перетравлено поживних речовин у другому циклі досліді птицею, г:					
№ 1	5,56	1,08	0,12	7,76	14,51
№ 2	6,91	1,33	0,19	10,21	18,64
№ 3	9,23	1,65	1,46	14,11	26,46
№ 4	7,22	1,44	0,05	10,62	19,33
Mean ± SEM	7,23 ± 0,76	1,38 ± 0,12	0,46 ± 0,34	10,67 ± 1,31	19,73 ± 2,48
У тому числі за рахунок раціону першого циклу (90 %), г:					
№ 1	4,42	1,23	0,39	9,86	15,84
№ 2	4,71	1,40	0,18	11,38	17,67
№ 3	6,32	1,59	1,43	14,23	23,57
№ 4	4,55	1,39	0,19	11,14	17,27
Mean ± SEM	5,00 ± 0,44	1,40 ± 0,07	0,55 ± 0,30	11,65 ± 0,92	18,59 ± 1,71
Перетравлено птицею у другому циклі за рахунок заміни (10 %) основного раціону ГПБ, г:					
№ 1	1,14	-0,16	-0,27	-2,10	-1,38
№ 2	2,21	-0,07	0,01	-1,17	0,97
№ 3	2,91	0,07	0,02	-0,12	2,89
№ 4	2,68	0,04	-0,14	-0,52	2,06
Mean ± SEM	2,23 ± 0,39	-0,03 ± 0,05	-0,10 ± 0,07	-0,98 ± 0,43	1,14 ± 0,93
Коефіцієнти перетравності поживних речовин ГПБ, %:					
№ 1	52,9	-282,0	-483,4	-5118,8	-60,0
№ 2	80,8	-104,0	13,0	-2245,3	33,4
№ 3	96,4	88,1	27,7	-204,1	89,2
№ 4	88,6	56,5	-175,0	-911,7	63,7

На думку F. Zhang, O. Adeola [47], необхідно коригувати видиму перетравність на ендогенні втрати, оскільки стандартизована або справжня перетравність забезпечує точніше оцінювання інгредієнтів корму, а також значень, які є додатковими у формулі раціону. Необхідні подальші дослідження, щоб врахувати, як інші компоненти можуть впливати на засвоюваність досліджуваних компонентів, і як оптимізувати базовий раціон за використання прямої процедури.

Очевидним є також процеси мікробної деградації поживних речовин у товстому відділі кишечника, накопичення клітковини у сліпих відростках та потрапляння сирого жиру ендогенного походження у послід. Всі ці фактори та аналітичні особливості й чутливість визначення речовин у зоотехнічному аналізі суттєво впливають на тестування високобілкового корму.

Автори публікації вважають, що отримані значення коефіцієнтів видимої перетравності на курчатах-бройлерах, що виходять за межі 0–100 %, не свідчать про наявність технічної помилки проведення досліді чи аналітичних випробувань, а є результатом специфіки проведення досліді за диференційованою схемою: використання специфічного високобілкового корму з низьким вмістом жиру, клітковини та БЕР, а також властивостей непрямих методів оцінювання видимої перетравності у досліді саме на молодняку птиці. Подібні артефакти описано у літературі [48, 49].

У досліді на перепелах отримано більш оптимістичні результати. Слід відзначити, що значення споживання корму перепелами у другому циклі досліді, на відміну від курчат-бройлерів, не перевищували значення першого циклу.

Розрахунки дали змогу отримати релевантні значення щодо коефіцієнтів видимої перетравності сирого протеїну у всіх дослідних перепелів та по два варіанти значень перетравності жиру та клітковини, що дало можливість визначити умовну (приблизну) перетравність ГПБ (табл. 5).

є меншим на 8 % порівняно зі значенням для птиці, наведеним в аналітичному огляді – 12,4 МДж [4]. Це може пояснюватися біологічними характеристиками молодняку птиці, пов'язаними з віковою незрілістю травного каналу та мікробно-ферментативних систем організму [50].

Таблиця 5 – Умовна поживність гідролізованого пир'яного борошна у молодняку птиці

Показник	Кількість варіантів (n)	Mean $\pm$ SEM	SD	CV (%)	Інтерпретація стабільності
<i>Коефіцієнт перетравності, %:</i>					
сирого протеїну	4	79,7 $\pm$ 9,48	18,95	23,79	Середній рівень варіації (15-30 %)
сирого жиру	2	72,3 $\pm$ 15,80	22,34	30,91	Висока варіація (30-50 %)
сирої клітковини	2	20,3 $\pm$ 7,35	10,39	51,08	Дуже висока варіація (> 50 %)
органічної речовини	3	62,1 $\pm$ 16,13	27,93	44,98	Висока варіація (30-50 %)
UOE = 11,38 МДж/кг					

Враховуючи, що в сухій речовині гідролізованого пир'яного борошна переважає сирий протеїн, досить надійним видається отримане значення коефіцієнту перетравності сирого протеїну: 79,7 $\pm$ 9,48 % із середнім рівнем варіації (23,7 %).

Це узгоджується з інформацією, представлену в огляді щодо використання пир'яного борошна у годівлі тварин. Зокрема зазначається, що значення засвоюваності пепсину (Pepsin Digestibility Assay, Association of Official Analytical Chemists) як тестовий метод оцінювання перетравності протеїну *in vitro* на рівні 75 % вважається мінімальним значенням, яке гарантує, що пир'яне борошно було належним чином оброблено та може бути рекомендовано у годівлі тварин [4], а також з іншими дослідженнями за використання методів *in vitro* [35, 36, 37].

Референтні значення коефіцієнтів перетравності жиру, клітковини та БЕР по ГПБ для птиці, на жаль, не розроблено. В досліді отримано високу варіацію перетравності сирого жиру та органічної речовини (CV відповідно 30,9 та 44,9 %), а також дуже високу варіацію щодо перетравності сирої клітковини у перепелів (CV на рівні 51 %). З літературних джерел відомо, що у досліді на морських лящах видиму перетравність ліпідів ГПБ визначено на рівні 91 % [49].

Обчислене за даними експерименту на молодняку перепелів значення уявної обмінної енергії (УОЕ) на рівні 11,38 МДж/кг

У дискусії щодо застосування різних методів тестування кормів (*in vivo* vs *in vitro*) [46, 47, 50, 51] вважаємо, що метод *in vivo* за диференційованою схемою, попри певну трудомісткість, тривалість та методичну недосконалість, є доступним для більшості дослідників України та за отримання надійних даних може надати характеристику поживності тестованих кормів.

Водночас, розуміючи еволюцію аналітичних методів оцінювання якості кормів останніми десятиліттями, погоджуємося з висновками Dervan D.S.L. Bryan [51], що недоліки, пов'язані з методами *in vivo*, сприяють комерційному визнанню методів *in vitro* як золотого стандарту оцінювання якості білка. Ці методи використовуються для підвищення ефективності роботи користувача з великою кількістю зразків, а деякі імітують фізіологічні та хімічні характеристики травної системи тварини, якій буде згодовуватися інгредієнт. Незважаючи на всі переваги цих методів *in vitro*, вони не дають справжньої реплікації нормальних умов травлення *in vivo* через нездатність цих методів імітувати численні біологічні фактори, що беруть участь у травленні *in vivo*, та складною взаємодією з різними інгредієнтами. Користувачі даних про перетравність *in vitro* повинні знати про ці недоліки та вживати необхідних заходів для валідації методів *in vitro* та їх даних.

Висновок. Результати досліджу з вивчення видимої перетравності поживних речовин гідролізованого пір'яного борошна, виготовленого за патентованою технологією НУБіП України, дають змогу розглядати його як альтернативний білковий корм (75,6 % сирого протеїну, 1,9 % сирій клітковини, 1,9 % сирого жиру, 1,4 % БЕР). Підтвердженням цього є достатньо надійні дані, встановлені на молодняку перепелів м'ясного напрямку продуктивності щодо визначення коефіцієнту перетравності сирого протеїну: $79,7 \pm 9,48$ % із середнім рівнем варіації (23,7 %). Враховуючи специфіку диференційованого підходу до визначення перетравності окремих кормів, особливо високобілкових з низьким умістом сирих жиру, клітковини та БЕР, обчислені коефіцієнти перетравності сирого жиру ($72,3 \pm 15,80$ %, CV 30,9 %), сирій клітковини ($20,3 \pm 7,35$ %, CV 51,1 %), органічної речовини ($62,1 \pm 16,13$ %, CV 44,9 %) можна вважати менш надійними у зв'язку з високою варіацією значень. Коефіцієнти видимої перетравності поживних речовин гідролізованого пір'яного борошна, визначені у дослідках на курчатках-бройлерах в більшості випадків виходили за межі 0–100 % та, зважаючи на їхню релевантність та надійність, не дали змоги здійснити відповідне оцінювання поживності досліджуваного корму. За енергетичною цінністю, визначеної за рівнянням регресії, значення уявною обмінної енергії (молодняк перепелів) в гідролізованому пір'яному борошні становить 11,38 МДж/кг та є меншим на 8 % порівняно з відомим значенням для птиці – 12,4 МДж.

Перспективи подальших досліджень полягають у деталізованому вивченні хімічного складу та безпечності гідролізованого пір'яного борошна, впливу різних рівнів його введення до складу повнораціонних комбікормів на продуктивність курчат-бройлерів та молодняку перепелів.

Подяки. Автори статті висловлюють вдячність професору кафедри електротехніки, електромеханіки та електротехнологій Миколі Заблоському за допомогу у виготовленні та наданні дослідної партії гідролізованого пір'яного борошна, завідувачу кафедри годівлі тварин та технології кормів – професору Михайлу Сичову, завідувачу кафедри технологій у тваринництві – професору Вадиму Лихачу, а також декану факультету тваринництва та водних біоресурсів НУБіП України Руслану Кононенку за сприяння в

організації досліджень та використанні дослідницької інфраструктури факультету.

Відомості про конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Antioxidant activity and in vitro protein digestibility of chicken feather protein hydrolysates / O.B. Akpor et al. Research Square. Preprint (Version 1). 2019. P. 1–4. DOI:10.21203/rs.2.14464/v1.
2. Soni A., Chand S., Talukder S. Feather meal and its nutritional impact. Poultry World, Misset Uitgeverij B.V. 2017. URL: <https://www.poultryworld.net/Nutrition/Articles/2017/2/ Feather-meal-and-its-nutritional-impact-95745E/>.
3. Growth, livability, feed consumption, and carcass composition of the Athens Canadian Random Bred 1955 meat-type chicken versus the 2012 high-yielding Cobb 500 broiler / K.E. Collins et al. Poult. Sci. 2014. Vol. 93. No 12. P. 2953–2962. DOI:10.3382/ps.2014-04224/.
4. Feather meal / V. Heuze et al. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. 2020. URL: <https://earthwormexpress.com/future-processes-and-technology/feather-meal/>.
5. Akpor O.B., Deborah J.E., Oluba O.M. Comparative decolouration of crystal violet dye using Chicken Feather fibre, chemical oxidation and bacterial cells. Journal of Environmental Science and Technology. 2018. Vol. 11. No 5. P. 246–253. DOI:10.3923/JEST.2018.246.253.
6. Papadopoulos M.C. Processed chicken feathers as feedstuff for poultry and swine. A review. Agricultural Wastes. 1985. Vol. 14. No 4. P. 275–290. DOI:10.1016/S0141-4607(85) 80009-3.
7. Kornilowicz-Kowalska T., Bohacz J. Biodegradation of keratin waste: theory and practical aspects. Waste management. 2011. Vol. 31. No. 8. P. 1689–1700. DOI:10.1016/j. wasman.2011.03.024.
8. Crawshaw R. Co-product feeds in Europe: Animal feeds derived from industrial processing. Lulu.com. 2019. URL: <https://www.lulu.com/fr/ca/shop/robin-crawshaw/co-product-feeds-in-europe/paperback/product-24469721.html>.
9. Zaghloul T.I., Embaby A.M., Elmahdy A.R. Biodegradation of chicken feathers waste directed by *Bacillus subtilis* recombinant cells: Scaling up in a laboratory scale fermentor. Bioresource technology. 2011. Vol. 102. No 3. P. 2387–2393. DOI:10.1016/j. biortech.2010.10.106.
10. Fabrication and characterization of keratin starch biocomposite film from chicken feather waste and ginger starch / O.M. Oluba et al. Scientific Reports. 2021. Vol. 11. No. 1. 11 p. DOI:10. 1038/s41598-021-88002-3.
11. Вербицький П. Утилізація відходів тваринного походження в Україні. Тваринництво України. 2008. № 5. С. 2–6.

12. Сучасні технології переробки відходів птахівництва і виробництва високопротеїнових кормових добавок: вітчизняний і зарубіжний досвід / М.В. Гладій та ін. Розведення і генетика тварин. 2016. № 51. С. 302–310. URL:http://nbuv.gov.ua/UJRN/rgt_2016_51_43.
13. Ковальчук С.І. Електротехнологічний комплекс для гідролісної переробки побічних продуктів птахівництва під впливом магнітного поля: дис. ... канд. тех. наук: 141 / Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2023. 180 с. URL:https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u145/dis_kovalchuk.pdf.
14. Nursinatario and Rudy Agung Nugroho Hydrolyzed Chicken Feather Meal as Protein Source for Red Tilapia (*Oreochromis* sp.) Aquafeeds. Pakistan Journal of Zoology. 2019. Vol. 51 (4). P. 1489–1496. DOI:10.17582/journal.pjz/2019.51.4.1489.1496.
15. Global Feather Meal Market – Industry Trends and Forecast to 2028. Data bridge market research. 2021. 320 p. URL:<https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-feather-meal-market>.
16. Черниш В.А., Отченашко В.В. Технології виробництва гідролізованого пір'яного борошна. Сучасні технології у тваринництві та рибництві: навколишнє середовище, виробництво продукції, екологічні проблеми: зб. матеріалів 79-ї міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 23–24 квіт. 2025. С. 185–187.
17. Csapó J., Albert C. Methods and procedures for the processing of feather from poultry slaughterhouses and the application of feather meal as antioxidant. Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria. 2018. Vol. 11. No 1. P. 81–96. DOI:10.2478/ausal-2018-0005.
18. Isolation and characterization of biofunctional keratin particles extracted from wool wastes / J. Zhang et al. Powder technology. 2013. Vol. 246. P. 356–362. DOI:10.1016/j.powtec.2013.05.037.
19. Coward-Kelly G., Chang V.S., Agbogbo F.K., Holtzapple M.T. Lime treatment of keratinous materials for the generation of highly digestible animal feed: 1. Chicken feathers. Journal of Bioresource Technology. 2006. Vol. 97. No. 11. P. 1337–1343. DOI:10.1016/j.biortech. 2005.05.021.
20. Thazeem B., Umesh M., Vikas O. V. Bio-conversion of poultry feather into feather meal using proteolytic *Bacillus* species: a comparative study. Int. J. Adv. Sci. Res. 2016. Vol. 1. P. 10–12. URL:<https://allscientificjournal.com/assets/archives/2016/vol1issue1/1-1-22-254.pdf>.
21. Kumar C. G., Takagi H. Microbial alkaline proteases: from a bioindustrial viewpoint. Biotechnology advances. 1999. Vol. 17. No. 7. P. 561–594. DOI:10.1016/S0734-9750(99)00027-0.
22. Sinkiewicz I., Śliwińska A., Staroszczyk H., Kołodziejska I. Alternative methods of preparation of soluble keratin from chicken feathers. Waste and biomass valorization. 2017. Vol. 8. P. 1043–1048. DOI:10.1007/s12649-016-9678-y.
23. Morris D.L., Judy J.V., Kononoff P.J. Use of indirect calorimetry to evaluate utilization of energy in lactating Jersey dairy cattle consuming diets with increasing inclusion of hydrolyzed feather meal. Journal of Dairy Science. 2020. Vol. 103. No. 5. P. 4206–4217. URL:[https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(21\)00863-8/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(21)00863-8/fulltext).
24. Johnson K.A., Busdieker-Jesse N., McClain W.E., Lancaster P.A. Feeding strategies and shade type for growing cattle grazing endophyte-infected tall fescue. Livest. Sci. 2019. Vol. 230. DOI:10.1016/j.livsci.2019.103829.
25. Hydrolyzed feather meal in sheep diets / A.F. Branco et al. Rev. Bras. Zootec. 2003. Vol. 32. No 6. P. 1454–1460. DOI:10.1590/s1516-359820030006000020.
26. Nutritional value of expanded feather meal and its effect on the growth performance of weaned piglets / Z. Chen et al. Swine Prod. 2019. Vol. 3. No. 18. URL:<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20203021858>.
27. Protein digestibility of enzymatic hydrolysis feather meal in vitro and its application in growing pigs / X. Li et al. Chinese J. Anim. Nutr. 2012. Vol. 48. No. 15. P. 33–36. URL:<http://www.zgxmzz.cn/wkc3/WebPublication/paperDigest.aspx?paperID=e431afcb-45ca-4357-ac4b-bd627a147d8d>.
28. Ajayi H., Iyayi, E. Performance of broiler chickens fed hydrolysed feather meal. Proc. Int. Poult. Summ. 2015. P. 1–5. URL:https://www.researchgate.net/publication/279267385_PERFORMANCE_OF_BROILER_CHICKENS_FED_HYDROLYSED_FEATHER_MEAL.
29. Transforming Feather Meal Into a High-Performance Feed for Broilers / M. Salehizadeh et al. Veterinary Medicine and Science. 2025. Vol. 11. No. 1. DOI:10.1002/vms3.70199.
30. Pertiwi A., Widodo E., Nur Ikhsan M., Sundu B. The utilization of feather meal to increase duck production, carcass quality and feathers growth of local Bali ducks. Livest. Res. Rural Dev. 2017. Vol. 29. No. 12. 224 p. URL:<http://www.lrrd.org/lrrd29/12/sund29224.html>.
31. Campos I., Matos E., Marques A., Valente L.M.P. Hydrolyzed feather meal as a partial fishmeal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. Aquaculture. 2017. Vol. 476. P. 152–159. DOI:10.1016/j.aquaculture.2017.04.024.
32. The effects of partial replacement of fishmeal protein by hydrolysed feather meal protein in the diet with high inclusion of plant protein on growth performance, fillet and physiological parameters of Pengze crucian carp (*Carassius auratus* var. Pengze) / R. Yu et al. Aquacult. Res. 2020. Vol. 51. No. 2. P. 636–647. DOI:10.1111/are.14411.
33. Вакуленко І.С., Данець Л.М., Лучин І.С., Данілова Т.М. Технологія ефективного використання нетрадиційного високобілкового корму в годівлі кролів. Наук.-техн. бюл. Харків: НААН. Ін-т тваринництва, 2016. Вип. 115. С. 31–36.

34. Determination of the nutritional value of diet containing *Bacillus subtilis* hydrolyzed feather meal in adult dogs / G.S. Machado et al. *Animals*. 2021. Vol. 11. No. 12. DOI:10.3390/ani11123553.

35. Supplementation with degradable and undegradable protein sources in rumen on cows fed *Urochloa humidicola*. II. Ruminal fermentation, degradation of organic matter and blood chemistry on crossbred cows / R.E. Mora-Luna et al. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias*. 2015. Vol. 25. No. 1. P. 63–73. URL: https://www.researchgate.net/publication/272791359Supplementation_With_Degradable_and_Undegradable_Protein_Sources_in_Rumen_on_Cows_Fed_Urochloa_humidicola_II_Ruminal_Fermentation_Degradation_of_Organic_Matter_and_Blood_Chemistry_on_Crossbred_Cows.

36. Habib G., Khan N.A., Ali M., Bezabih M. *In situ* ruminal crude protein degradability of by-products from cereals, oilseeds and animal origin. *Lives. Sci.* 2013. Vol. 153. No. 1–3. P. 81–87. DOI:10.1016/j.livsci.2013.01.017.

37. In vitro antioxidant properties and digestibility of chicken feather protein hydrolysates / O.B. Akpor et al. *Food Research*. 2020. Vol. 4. No. 4. P. 1053–1059. DOI:10.26656/fr.2017.4(4).40.

38. Amino acid composition and digestible amino acid content in animal protein by-product meals fed to growing pigs / B.J. Kerr et al. *J. Anim. Sci.* 2019. Vol. 97. No. 11. P. 4540–4547. DOI:10.1093/jas/skz294.

39. Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council of 22 May 2001 laying down rules for the prevention, control and eradication of certain transmissible spongiform encephalopathies. *Journal officiel n° L 147 du 31/05/2001*. P. 1–40. URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2001/999/oj>.

40. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві / за ред. І.І. Ібатулліна, О.М. Жукорського. Київ: Аграр. наука, 2017. 328 с.

41. Лавринюк О.О., Бурлака В.А. Зоохімічний аналіз кормів. Хімічний та атомно-адсорбційний аналіз кормів: навч. практ. / за ред. В.А. Бурлаки. Житомир, 2016. 110 с. URL: http://ir.polissiauniv-er.edu.ua/bitstream/123456789/8665/1/Zoochemical%20analysis2016_2_110.PDF.

42. Отченашко В.В. Енергетична цінність кормів для дорослих м'ясних перепелів. 36. наук. праць Вінницького національного аграрного університету. 2011. Вип. 10 (50). С. 16–26. URL: <https://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/3334.pdf>.

43. Практикум з годівлі сільськогосподарських тварин: навч. пос. / І.І. Ібатуллін та ін. / за ред. І.І. Ібатулліна. Київ, 2015. 422 с.

44. Осадча Ю.В. Математичні методи в біології. Київ: «ЦП «КОМПРИНТ», 2017. 609 с.

45. Ravindran V. Progress in ileal endogenous amino acid flow research in poultry. *J Anim Sci Bio-*

technol. 2021. Vol. 12. No. 5. 11 p. DOI:10.1186/s40104-020-00526-2.

46. Parsons C.M. Unresolved issues for amino acid digestibility in poultry nutrition. *Journal of Applied Poultry Research*. 2020. Vol. 29. Issue 1. P. 1–10. DOI:10.1016/j.japr.2019.12.007.

47. Zhang F., Adeola O. Techniques for evaluating digestibility of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in feed ingredients for pigs. *Anim Nutr.* 2017. Vol. 3 (4). P. 344–352. DOI:10.1016/j.aninu.2017.06.008.

48. Apparent digestibility of proteinaceous feed ingredients from animal and plant origin for two tropical species snubnose pompano *Trachinotus blochii* and mangrove red snapper *Lutjanus argentimaculatus* / A.A. Siddik et al. *Aquaculture Reports*. 2024. Vol. 39. 9 p. DOI:10.1016/j.aqrep.2024.102526.

49. Evaluation of Apparent Nutrient Digestibility of Novel and Conventional Feed Ingredients in Sobaiya Seabream (*Sparidentex hasta*) for Sustainable Aquaculture / S. Zehra et al. *Fishes*. 2025. Vol. 10. No. 6. 265 p. DOI:10.3390/fishes10060265.

50. Zewdie A.K. The Different Methods of Measuring Feed Digestibility: A Review. *EC Nutrition*. 2019. P. 68–74. URL: https://ecronicon.net/assets/ecnu/pdf/ECNU-14-00542.pdf?utm_source=chatgpt.com.

51. Bryan D.D.S.L., Classen H.L. In Vitro Methods of Assessing Protein Quality for Poultry. *Animals*. 2020. Vol. 10. No. 4. 551 p. DOI:10.3390/ani10040551.

REFERENCES

1. Akpor, O.B., Alabi, O.O., Shoyombo, A.J., Adeyonu, A.G. and Adebisi, F.D. (2019). Antioxidant activity and in vitro protein digestibility of chicken feather protein hydrolysates. *Research Square*, Preprint (Version 1), pp. 1–4. DOI:10.21203/rs.2.14464/v1.

2. Soni, A., Chand, S., Talukder, S. (2017). Feather meal and its nutritional impact. *Poultry World*, Misset Uitgeverij B.V. Available at: <https://www.poultryworld.net/Nutrition/Articles/2017/2/Feather-meal-and-its-nutritional-impact-95745E/>.

3. Collins, K.E., Kiepper, B.H., Ritz, C.W., Wilson, J.L. (2014). Growth, livability, feed consumption, and carcass composition of the Athens Canadian Random Bred 1955 meat-type chicken versus the 2012 high-yielding Cobb 500 broiler. *Poultry Sci.* Vol. 93, no. 12, pp. 2953–2962. DOI:10.3382/ps.2014-04224.

4. Heuzé, V., Tran, G., Nozière, P., Bastianelli, D., Lebas, F. (2020). Feather meal. *Feedipedia* (INRAE, CIRAD, AFZ and FAO). Available at: <https://earthwormexpress.com/future-processes-and-technology/feather-meal/>.

5. Akpor, O.B., Deborah, J.E., Oluba, O.M. (2018). Comparative decolouration of crystal violet dye using chicken feather fibre, chemical oxidation and bacterial cells. *Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 11, no. 5, pp. 246–253. DOI:10.3923/JEST.2018.246.253.

6. Papadopoulos, M.C. (1985). Processed chicken feathers as feedstuff for poultry and swine: A review. *Agricultural Wastes*. Vol. 14, no. 4, pp. 275–290. DOI:10.1016/S0141-4607(85)80009-3.
7. Korniłowicz-Kowalska, T., Bohacz, J. (2011). Biodegradation of keratin waste: theory and practical aspects. *Waste Management*, Vol. 31, no. 8, pp. 1689–1700. DOI:10.1016/j.wasman.2011.03.024.
8. Crawshaw, R. (2019). *Co-product feeds in Europe: Animal feeds derived from industrial processing*. Lulu.com. Available at: <https://www.lulu.com/fr/ca/shop/robin-crawshaw/co-product-feeds-in-europe/paperback/product-24469721.html>.
9. Zaghloul, T.I., Embaby, A.M., Elmahdy, A.R. (2011). Biodegradation of chicken feathers waste directed by *Bacillus subtilis* recombinant cells: Scaling up in a laboratory scale fermentor. *Biore-source Technology*, Vol. 102, no. 3, pp. 2387–2393. DOI:10.1016/j.biortech.2010.10.106.
10. Oluba, O.M., Obi, C.F., Akpor, O.B., Oje-aburu, S.I., Ogunrotimi, F.D., Adediran, A.A., Oki, M. (2021). Fabrication and characterization of keratin starch biocomposite film from chicken feather waste and ginger starch. *Scientific Reports*. Vol. 11, no. 1, 11 p. DOI:10.1038/s41598-021-88002-3.
11. Verbystkyi, P. (2008). Utylizatsiia vidkhodiv tvarynnoho pokhodzhennia v Ukraini [Utilization of animal waste in Ukraine]. *Tvarynnystvo Ukrainy [Livestock of Ukraine]*, no. 5, pp. 2–6. (In Ukrainian).
12. Hladii, M.V., Melnyk, Yu.F., Kebko, V.H., Polupan, Yu.P. and Murzha, I.I., 2016. Suchasni tekhnologii pererobky vidkhodiv ptakhivnytstva i vyrobnytstva vysokoproteinovykh kormovykh dobavok: vitchyzniani i zarubizhnyi dosvid [Modern technologies of poultry waste processing and production of high-protein feed additives: domestic and foreign experience]. *Rozvedennia i henetyka tvaryn [Animal breeding and genetics]*, no. 51, pp. 302–310. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rgt_2016_51_43. (In Ukrainian).
13. Kovalchuk, S.I. (2023). Elektrotekhnologichniy kompleks dlia hidroliznoi pererobky pobichnykh produktiv ptakhivnytstva pid vplyvom mahnitnoho polia: dys. ... kand. tekhn. nauk: 141 / Natsionalnyi universytet biosursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy [Electrotechnological complex for hydrolysis processing of poultry by-products under the influence of a magnetic field: dissertation ... candidate of technical sciences: 141 / National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine]. Kyiv, 180 p. Available at: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u145/dis_kovalchuk.pdf. (In Ukrainian).
14. Nursinatrio and Nugroho, R.A. (2019). Hydrolyzed Chicken Feather Meal as Protein Source for Red Tilapia (*Oreochromis* sp.) Aquafeeds. *Pakistan Journal of Zoology*, Vol. 51 (4), pp. 1489–1496. DOI:10.17582/journal.pjz/2019.51.4.1489.1496.
15. *Global Feather Meal Market – Industry Trends and Forecast to 2028*. Data Bridge Market Research. 2021, 320 p. Available at: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-feather-meal-market>.
16. Chernysh, V.A., Otchenashko, V.V. (2025). Tekhnologii vyrobnytstva hidrolizovanoho pir'iano-ho borshna [Technologies of hydrolyzed feather meal production]. *Suchasni tekhnologii u tvarynnystvi ta rybnytvi: navkolyshnje seredovyshe, vyrobnytstvo produkci, ekologichni problemy: zb. materialiv 79-i' mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Kyi'v, 23–24 kvit [Modern technologies in animal husbandry and fish farming: environment, production, ecological problems: collection of materials of the 79th International Scientific-Practical Conference, Kyiv, April 23–24]*, pp. 185–187. (In Ukrainian).
17. Csapó, J., Albert, C. (2018). Methods and procedures for the processing of feather from poultry slaughterhouses and the application of feather meal as antioxidant. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*. Vol. 11, no. 1, pp. 81–96. DOI:10.2478/ausal-2018-0005.
18. Zhang, J., Li, Y., Li, J., Zhao, Z., Liu, X., Li, Z., Chen, A. (2013). Isolation and characterization of biofunctional keratin particles extracted from wool wastes. *Powder Technology*, Vol. 246, pp. 356–362. DOI:10.1016/j.powtec.2013.05.037.
19. Coward-Kelly, G., Chang, V.S., Agbogbo, F.K., Holtzapple, M.T. (2006). Lime treatment of keratinous materials for the generation of highly digestible animal feed: 1. Chicken feathers. *Biore-source Technology*, Vol. 97, no. 11, pp.1337–1343. DOI:10.1016/j.biortech.2005.05.021.
20. Thazeem, B., Umesh, M., Vikas, O.V. (2016). Bioconversion of poultry feather into feather meal using proteolytic *Bacillus* species: a comparative study. *International Journal of Advanced Science Research*, Vol. 1, pp. 10–12. Available at: <https://all-scientificjournal.com/assets/archives/2016/vol1issue1/1-1-22-254.pdf>.
21. Kumar, C.G., Takagi, H. (1999). Microbial alkaline proteases: from a bioindustrial viewpoint. *Biotechnology Advances*. Vol. 17, no. 7, pp. 561–594. DOI:10.1016/S0734-9750(99)00027-0.
22. Sinkiewicz, I., Śliwińska, A., Starszczyk, H., Kołodziejska, I. (2017). Alternative methods of preparation of soluble keratin from chicken feathers. *Waste and Biomass Valorization*. Vol. 8, pp. 1043–1048. DOI:10.1007/s12649-016-9678-y.
23. Morris, D.L., Judy, J.V., Kononoff, P.J. (2020). Use of indirect calorimetry to evaluate utilization of energy in lactating Jersey dairy cattle consuming diets with increasing inclusion of hydrolyzed feather meal. *Journal of Dairy Science*, Vol. 103, no. 5, pp. 4206–4217. Available at: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(21\)00863-8/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(21)00863-8/fulltext).
24. Johnson, K.A., Busdieker-Jesse, N., McClain, W.E., Lancaster, P.A. (2019). Feeding strategies and shade type for growing cattle grazing endophyte-infected tall fescue. *Livestock Science*, Vol. 230. DOI:10.1016/j.livsci.2019.103829.
25. Branco, A.F., Coneglian, S.M., Mouro, G.F., Dos Santos, G.T., Zeoula, L.M., Bumbieris, V.H. (2003). Hydrolyzed feather meal in sheep diets. *Revista Brasileira de Zootecnia*. Vol. 32,

no. 6, pp. 1454–1460. DOI:10.1590/s1516-35982003000600020.

26. Chen, Z., Chu, D., Chang, W., Zheng, A., Cai, H., Liu, G. (2019). Nutritional value of expanded feather meal and its effect on the growth performance of weaned piglets. *Swine Production*. Vol. 3, no. 18. Available at: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20203021858>.

27. Li, X., Yu, Y., Xiao, Y., Jin, M., Hong, Q., Chen, A., Yang, C. (2012). Protein digestibility of enzymatic hydrolysis feather meal in vitro and its application in growing pigs. *Chinese J. Anim. Nutrit.*, Vol. 48, no. 15, pp. 33–36. Available at: <http://www.zgxmzz.cn/wkc3/WebPublication/paperDigest.aspx?paperID=e431afcb-45ca-4357-ac4b-bd627a147d8d>.

28. Ajayi, H., Iyayi, E. (2015). Performance of broiler chickens fed hydrolysed feather meal. *Proc. Int. Poult. Summ.*, pp. 1–5. Available at: https://www.researchgate.net/publication/279267385_PERFORMANCE_OF_BROILER_CHICKENS_FED_HYDROLYSED_FEATHER_MEAL.

29. Salehizadeh, M., Tajabadi Ebrahimi, M., Mousavi, S.N., Sepahi, A.A., Orooji, R. (2025). Transforming feather meal into a high-performance feed for broilers. *Veterinary Medicine and Science*. Vol. 11, no. 1. DOI:10.1002/vms3.70199.

30. Pertiwi, A., Widodo, E., Nur Ikhsan, M., Sundu, B. (2017). The utilization of feather meal to increase duck production, carcass quality and feathers growth of local Bali ducks. *Livest. Res. Rural Dev.* Vol. 29, no. 12, 224 p. Available at: <http://www.lrrd.org/lrrd29/12/sund29224.html>.

31. Campos, I., Matos, E., Marques, A., Valente, L.M.P. (2017). Hydrolyzed feather meal as a partial fishmeal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, Vol. 476, pp. 152–159. DOI:10.1016/j.aquaculture.2017.04.024.

32. Yu, R., Cao, H., Huang, Y., Peng, M., Kajbaf, K., Vikas, K., Tao, Z., Yang, C., Wen, C. (2020). The effects of partial replacement of fishmeal protein by hydrolysed feather meal protein in the diet with high inclusion of plant protein on growth performance, fillet and physiological parameters of Pengze crucian carp (*Carassius auratus* var. Pengze). *Aquaculture Research*. Vol. 51, no. 2, pp. 636–647. DOI:10.1111/are.14411.

33. Vakulenko, I.S., Danets, L.M., Luchyn, I.S., Danilova, T.M. (2016). Tekhnolohiia efektyvnoho vykorystannia netradytsiinoho vysokobilkovoho kormu v hodivli kroliv [Technology of effective use of unconventional high-protein feed in rabbit feeding]. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten [Scientific and technical bulletin]*. Kharkiv: NAAS. Institute of Animal Husbandry, Issue 115, pp. 31–36. (In Ukrainian).

34. Machado, G.S., Correa, A.P.F., Pires, P.G.D.S., Marconatto, L., Brandelli, A., Kessler, A.D.M., Trevizan, L. (2021). Determination of the nutritional value of diet containing *Bacillus subtilis* hydrolyzed feather meal in adult dogs. *Animals*, Vol. 11, no. 12. DOI:10.3390/ani11123553.

35. Mora-Luna, R.E., Chicco, C.F., Herrera-Angulo, A.M., Godoy, S., Garmendia, J. (2015). Supplementation with degradable and undegradable protein sources in rumen on cows fed *Urochloa humidicola*. II. Ruminal fermentation, degradation of organic matter and blood chemistry on crossbred cows. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias*. Vol. 25, no. 1, pp. 63–73. Available at: https://www.researchgate.net/publication/272791359_Supplementation_With_Degradable_and_Undegradable_Protein_Sources_in_Rumen_on_Cows_Fed_Urochloa_humidicola_II_Ruminal_Fermentation_Degradation_of_Organic_Matter_and_Blood_Chemistry_on_Crossbred_Cows.

36. Habib, G., Khan, N.A., Ali, M., Bezabih, M. (2013). In situ ruminal crude protein degradability of by-products from cereals, oilseeds and animal origin. *Lives. Sci.*, Vol. 153, no. 1–3, pp. 81–87. DOI:10.1016/j.livsci.2013.01.017.

37. Akpor, O.B., Shoyombo, A.J., Alabi, O.O., Adebisi, F.D., Oluba, O.M., Adeyinu, A.G. (2020). In vitro antioxidant properties and digestibility of chicken feather protein hydrolysates. *Food Research*. Vol. 4, no. 4, pp. 1053–1059. DOI:10.26656/fr.2017.4(4).40.

38. Kerr, B.J., Urriola, P.E., Jha, R., Thomson, J.E., Curry, S.M., Shurson, G.C. (2019). Amino acid composition and digestible amino acid content in animal protein by-product meals fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.*, Vol. 97, no. 11, pp. 4540–4547. DOI:10.1093/jas/skz294.

39. Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council of 22 May 2001 laying down rules for the prevention, control and eradication of certain transmissible spongiform encephalopathies. *Journal officiel n° L 147 du 31/05/2001*, pp. 1–40. Available at: <http://data.europa.eu/eli/reg/2001/999/oj>.

40. Ibatullin, I.I., Zhukorskyi, O.M. (2017). *Metodolohiia ta orhanizatsiia naukovykh doslidzhen u tvarynnystvi* [Methodology and organization of scientific research in animal husbandry]. Kyiv: Agrarian Science, 328 p. (In Ukrainian).

41. Lavryniuk, O.O., Burlaka, V.A. (2016). Zoohimichnyy analiz kormiv [Zoochemical analysis of feeds]. Himichnyy ta atomno-adsorbciynnyy analiz kormiv: navch. prakt. / za red. V.A. Burlaky [Chemical and atomic adsorption analysis of feeds: teaching and practical / edited by V.A. Burlaka]. Zhytomyr, 110 p. Available at: http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/8665/1/Zoochemical%20analysis_2016_2_110.PDF. (In Ukrainian).

42. Otchenashko, V.V. (2011). Enerhetychna tsinnist kormiv dlia doroslykh m'iasnykh perepeliv [Energy value of feeds for adult meat quails]. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu* [Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University], Issue 10 (50), pp. 16–26. Available at: <https://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/3334.pdf>. (In Ukrainian).

43. Ibatullin, I.I. (2015). *Praktykum z hodivli silskohospodarskykh tvaryn* [Practicum on feeding of farm animals]. Kyiv, 422 p. (In Ukrainian).

44. Osadcha, Yu.V. 2017. *Matematychni metody v biologii* [Mathematical methods in biology]. Kyiv: "CP "COMPRINT", 609 p. (In Ukrainian).
45. Ravindran, V. (2021). Progress in ileal endogenous amino acid flow research in poultry. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, Vol. 12, no. 5, 11 p. DOI:10.1186/s40104-020-00526-2.
46. Parsons, C.M. (2020). Unresolved issues for amino acid digestibility in poultry nutrition. *Journal of Applied Poultry Research*, Vol. 29, Issue 1, pp. 1–10. DOI:10.1016/j.japr.2019.12.007.
47. Zhang, F., Adeola, O. (2017). Techniques for evaluating digestibility of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in feed ingredients for pigs. *Anim Nutr*, Vol. 3 (4), pp. 344–352. DOI:10.1016/j.aninu.2017.06.008
48. Siddik, A.A., Saleh, R., Zehra, S., De Mello, P.H., Laranja, J.L.Q., Al Shaikhi, A., Al Hafedh, Y., Glencross, B.D., Mohamed, A.H.W. (2024). Apparent digestibility of proteinaceous feed ingredients from animal and plant origin for two tropical species: snubnose pompano (*Trachinotus blochii*) and mangrove red snapper (*Lutjanus argentimaculatus*). *Aquaculture Reports*, Vol. 39, 9 p. Available at: DOI:10.1016/j.aqrep.2024.102526.
49. Zehra, S., Abul Kasim, A.S., Saleh, R., De Mello, P., Alshaikhi, A., Laranja, J., Alhafedh, Y., Glencross, B.D., Alghamdi, M.A., Mohamed, A.W. (2025). Evaluation of apparent nutrient digestibility of novel and conventional feed ingredients in sobaity seabream (*Sparidentex hasta*) for sustainable aquaculture. *Fishes*, Vol. 10, no. 6, 265 p. DOI:10.3390/fishes10060265.
50. Zewdie, A.K. (2019). The different methods of measuring feed digestibility: A review. *EC Nutrition*, pp. 68–74. Available at: <https://ecronicon.net/assets/ecnu/pdf/ECNU-14-00542.pdf>.
51. Bryan, D.D.S.L., Classen, H.L. (2020). In vitro methods of assessing protein quality for poultry. *Animals*, Vol. 10, no. 4, 551 p. DOI:10.3390/ani10040551.

Nutrient digestibility and energy value of hydrolysed feather meal in poultry

Otchenashko V., Chernysh V.

Hydrolysed feather meal is a promising alternative protein feed for animals, containing 75–90% protein and helping reduce the environmental risks of poultry waste disposal. The effectiveness

and nutritional value of feather meal depend significantly on the quality of the starting material and the technological features of its production (temperature, pressure, processing mode, use of acids, alkalis, or enzymes, degree of purification from impurities, etc.). Despite the significant potential for replacing traditional protein feeds (soybean meal, fish meal), one of the main problems remains the insufficient number of reliable studies and data on the nutritional value of hydrolysed feather meal for different animal species, as well as the presence of legislative restrictions on its use in animal nutrition (EU Regulation No. 999/2001). The aim of this work was to study the digestibility of nutrients and the energy value of hydrolysed feather meal in commercial broiler chickens and young quails for meat production. For the experiment, 4 heads of typical Cobb-500 cross chickens aged 24 days (average body weight 1400.8 g) and 4 young Pharaoh quails aged 30 days (average body weight 225.0 g) were selected. The birds were kept in individual cages using typical compound feeds for broiler chickens and young quails. The experiment to study feed digestibility was carried out according to a differentiated scheme in two consecutive cycles lasting 7 days; the preliminary and transitional periods were 3 days each. The digestibility of feather meal was studied by replacing 10% of the main diet with the studied flour (5%). Feather meal, produced by the technology of hydrothermal hydrolysis with the influence of an electromagnetic field, contained 75.6% crude protein, 1.9% crude fibre, 1.9% crude fat, and 1.4% NFE. In experiments on young quails, the digestibility coefficient of crude protein was determined at $79.7 \pm 9.48\%$ with an average level of variation (23.7%). The calculated digestibility coefficients of crude fat ($72.3 \pm 15.80\%$, CV 30.9%), crude fibre ($20.3 \pm 7.35\%$, CV 51.08%) and organic matter ($62.1 \pm 16.13\%$, CV 44.9%) are less reliable due to the high variation in the values. The apparent digestibility coefficients of nutrients from hydrolysed feather meal, determined in experiments on broiler chickens, in most cases exceeded the 0–100% range. The calculated value of the apparent metabolizable energy (young quails) in hydrolysed feather meal is 11.38 MJ/kg.

Keywords: broilers, quails, hydrolysed feather meal, protein, digestibility, metabolizable energy, nutrients.



Copyright: Отченашко В. В., Черниш В. А. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Отченашко В. В.

Черниш В. А.

<https://orcid.org/0000-0003-0336-9340>

<https://orcid.org/0009-0006-1483-1982>