
ТВАРИННИЦТВО, КОРМОВИРОБНИЦТВО, ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ПЕРЕРобКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

ANIMAL HUSBANDRY, FEED PRODUCTION,
STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

УДК 636.5.084/.085:577.112
DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.148.1.25>

МЕТАБОЛІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ АМІНОКИСЛОТНИМ ПРОФІЛЕМ У РАЦІОНАХ ПТИЦІ

Баланчук І.М. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри годівлі тварин та технології тварин ім. П. Д. Пшеничного,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0002-7576-6508

Сучасне промислове птахівництво перебуває на етапі глобальної трансформації, зумовленої необхідністю поєднання високої продуктивності птиці з жорсткими вимогами екологічної безпеки та стратегіями сталого розвитку. Традиційні методи нормування раціонів, що базуються на вмісті сирого протеїну, на сьогодні визнані недостатньо ефективними, оскільки вони не враховують складну динаміку метаболічних взаємодій амінокислот та призводять до значних втрат ресурсів і надмірної екскреції азоту в довкілля. У представленій статті проведено системний аналіз та узагальнення сучасних наукових підходів до оптимізації амінокислотного живлення птиці, оцінено ефективність різних систем визначення біодоступності нутрієнтів та досліджено стратегії зниження техногенного навантаження через прецизійну корекцію раціонів. Методологія дослідження ґрунтується на аналізі результатів останніх світових досліджень у сфері нутриціології, порівнянні систем ідеальної перетравності амінокислот (AID, SIAAD, TID) та вивченні впливу екзогенних ферментів на біодоступність білка. Встановлено, що перехід до нормування за показниками стандартизованої ідеальної перетравності (SIAAD) є фундаментальною умовою прецизійної годівлі, оскільки цей метод враховує базальні ендогенні втрати та забезпечує високу точність прогнозування засвоєваності амінокислот у складних кормосумішах. Доведено, що використання синтетичних амінокислот дозволяє знизити рівень сирого протеїну в раціоні на 1–3%, що сприяє зменшенню викидів азоту в навколишнє середовище на 10–21% без втрати продуктивних якостей птиці та якості м'ясної продукції. Особливу увагу приділено ролі екзогенних ферментів, комбіноване застосування яких забезпечує синергетичний ефект, підвищуючи засвоєваність лімітуючих амінокислот на 2–8% шляхом руйнування антипоживних комплексів та зниження в'язкості хімусу. Виявлено, що функціональне значення амінокислот виходить далеко за межі структурного синтезу білків: вони виступають критичними регуляторами цілісності кишкового бар'єру, модулюють імунну відповідь



© Баланчук А.М., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

та впливають на склад кишкової мікробіоти. Наукова новизна роботи полягає у комплексному обґрунтуванні прецизійного живлення як інструменту екологічної та економічної стабільності галузі, включаючи аналіз інноваційних технологій in-ovo живлення для програмування продуктивного потенціалу. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості оптимізації рецептур комбикормів для зниження їх собівартості, зменшення вуглецевого сліду та запобігання деградації довкілля.

Ключові слова: птахівництво, амінокислоти, SIAAD, протеїн, ферменти, екологічна безпека.

Balanchuk I. Metabolic and technological aspects of management of the amino acid profile in poultry diets

Modern industrial poultry production is undergoing a stage of global transformation driven by the necessity to combine high poultry productivity with stringent environmental safety requirements and sustainable development strategies. Traditional methods of diet formulation based on crude protein content are currently recognized as insufficiently effective, as they do not account for the complex dynamics of metabolic amino acid interactions and lead to significant resource losses and excessive nitrogen excretion into the environment. This article provides a systematic analysis and generalization of modern scientific approaches to the optimization of amino acid nutrition in poultry, evaluates the effectiveness of various systems for determining nutrient bioavailability, and explores strategies for reducing anthropogenic pressure through precision diet correction. The research methodology is based on the analysis of the latest global studies in the field of nutritional science, comparison of ileal amino acid digestibility systems (AID, SIAAD, TID), and the study of the effect of exogenous enzymes on protein bioavailability. It has been established that the transition to diet formulation based on standardized ileal amino acid digestibility (SIAAD) is a fundamental condition for precision feeding, as this method accounts for basal endogenous losses and ensures high accuracy in predicting amino acid digestibility in complex feed mixtures. It is proven that the use of synthetic amino acids allows for a reduction in the dietary crude protein level by 1–3%, which contributes to a decrease in nitrogen emissions into the environment by 10–21% without compromising poultry performance or meat product quality. Particular attention is paid to the role of exogenous enzymes, the combined use of which provides a synergistic effect, increasing the digestibility of limiting amino acids by 2–8% by disrupting anti-nutritional complexes and reducing digesta viscosity. It was found that the functional significance of amino acids extends far beyond the structural synthesis of proteins: they act as critical regulators of intestinal barrier integrity, modulate the immune response, and influence the composition of the intestinal microbiota. The scientific novelty of the work lies in the comprehensive substantiation of precision nutrition as a tool for the environmental and economic stability of the industry, including the analysis of innovative in-ovo feeding technologies for programming productive potential. The practical significance of the results obtained lies in the possibility of optimizing feed formulations to reduce their cost, decrease the carbon footprint, and prevent environmental degradation.

Key words: poultry farming, amino acids, SIAAD, protein, enzymes, environmental safety.

Постановка проблеми. Сучасне птахівництво постає перед викликами одночасного підвищення продуктивності птиці, підтримання генетичного потенціалу та радикального зниження техногенного тиску на довкілля. Традиційні методи нормування раціонів за валовим протеїном не враховують складну динаміку метаболічних взаємодій амінокислот та впливу антипоживних факторів кормів, що призводить до неефективного використання ресурсів і надмірної екскреції азоту.

Вступ. Птахівництво відіграє критичну роль у глобальному забезпеченні населення високоякісним білком тваринного походження, генеруючи близько 40% світового споживання м'яса [1; 2]. За таких умов оптимізація амінокислотного живлення є фундаментальним чинником підтримки стабільності продовольчої системи, оскільки амінокислоти виступають не лише субстратом для синтезу білків, а й регуляторами росту, репродукції та імунного статусу птиці [3; 4].

На сучасному етапі розвитку птахівництва амінокислоти також розглядаються як критичні регулятори метаболізму. Фундаментальним зрушенням став перехід

від нормування раціонів за вмістом сирого протеїну до використання показників перетравних амінокислот. Введення в раціони лімітуючих незамінних та функціональних амінокислот покращує показники продуктивності, якості продукції та імунної відповіді [5]. Такий підхід дозволяє реалізувати концепцію «ідеального протеїну», забезпечуючи прецизійний розподіл поживних речовин.

Точне формування амінокислотного профілю є стратегічним інструментом сталого розвитку галузі. Зниження рівня сирого протеїну за умови балансування раціону синтетичними амінокислотами дозволяє ефективно зменшити виділення азоту без втрати продуктивності [6; 7; 8]. Це сприяє покращенню конверсії та зменшенню екологічного навантаження, пов'язаного з утилізацією органічних відходів [9; 10]. І навпаки, дисбаланс амінокислот призводить до економічних збитків та надмірної емісії азоту [11].

Сучасні технології орієнтовані на підвищення біодоступності амінокислот. Стандартизована перетравність у клубовій кишці (SIAAD) наразі визнана найбільш точним методом оцінки біодоступності амінокислот, випереджаючи традиційні методи за достовірністю при розробці раціонів [12]. Проте ефективність засвоєння амінокислот може обмежуватися антипоживними факторами та термічною обробкою кормів [13; 14]. Для вирішення цієї проблеми розробляються стратегії цільової доставки, включаючи використання хелатних форм та очищених кристалічних амінокислот, що забезпечують стабільну продуктивність в різних умовах виробництва [15; 16].

Даний огляд розкриває результати останніх досліджень у сфері амінокислотного живлення, фокусуючись на системах оцінки перетравності, інноваційних методах використання амінокислот та стратегіях екологічної оптимізації без шкоди для продуктивних якостей птиці.

Еволюція амінокислотного живлення. Історично підхід до балансування раціонів птиці базувався на показнику сирого протеїну, що є непрямим індикатором вмісту азоту. До 1980-х років, як промислові кормові добавки та економічно доцільні вільні амінокислоти, були доступні лише лізин та метіонін. Це змушувало технологів компенсувати дефіцит інших амінокислот шляхом включення великої кількості високобілкових інгредієнтів, що неминуче призводило до надлишку чи дисбалансу амінокислот та загального азоту в раціоні. Надлишок протеїну в раціоні має низку негативних наслідків: фізіологічні – підвищене споживання води, що призводить до перезволоження підстилки та посилення емісії аміаку; ветеринарні – інтенсивна ферментація азотистих сполук у товстому кишечнику погіршує стан здоров'я кишкового тракту; екологічні – надмірне виділення азоту з калом та сечею [17].

Докорінна зміна підходу відбулася завдяки розширенню ринку амінокислот що дозволило технологам оптимізувати раціони відповідно до генетичного потенціалу сучасних кросів, враховуючи специфічні умови вирощування, при цьому значно знижуючи рівень сирого протеїну.

Слід зазначити, що технології зниження вмісту сирого протеїну в раціоні активно застосовуються вже понад десятиліття, це зумовлено реалізацією «Європейського зеленого курсу» та змінами урядових політик щодо екології, які супроводжуються масштабними дослідженнями реакцій організму на низькопротеїнові раціони та вивченням потреб в азоті. Сучасний науковий інтерес зміщується в бік функціональних переваг амінокислот. Окрім росту, це підтримка цілісності слизової оболонки шлунково-кишкового тракту, модуляція імунної відповіді, регуляція поведінкових аспектів та добробуту птиці [18].

Прогнозоване на 50% зростання попиту на тваринний білок до 2050 року [19] відбувається на тлі загострення кліматичних змін, що створює загрозу продовольчій безпеці [20; 21]. У відповідь на ці виклики Європейська комісія в межах «Європейського зеленого курсу» встановила амбітні цілі: скорочення викидів парникових газів на 55% до 2030 року та зменшення використання антимікробних засобів на 50% [22]. Це змушує галузь переходити на нові аграрні практики, де ключову роль відіграє прецизійне амінокислотне живлення.

Класифікація та функціональне значення амінокислот. Класифікація амінокислот за їхніми хімічними властивостями та біологічною роллю дозволяє глибше зрозуміти їхній внесок у структуру білків, метаболізм та підтримку життєдіяльності організму. Амінокислоти, залежно від того, чи можуть вони синтезуватися заново в клітинах тіла тварин, поділяють на незамінні (EAAs) та замінні (NEAAs) [23; 24]. Незамінні амінокислоти не можуть синтезуватися організмом птиці в кількостях достатніх для забезпечення метаболічних потреб, тому вони мають надходити з кормом. До цієї групи належать лізин, метіонін, триптофан, треонін, ізолейцин, аргінін, лейцин, гістидин, фенілаланін та валін. Особливу групу становлять амінокислоти з розгалуженим ланцюгом (BCAA) – ізолейцин, валін та лейцин, які становлять близько 20% загального пулу амінокислот у білках рослинного та тваринного походження [25].

Деякі амінокислоти класифікують як умовно незамінні, оскільки їх ендогенний синтез може бути обмеженим певними фізіологічними станами або фазами розвитку. Зокрема, гліцин вважається умовно незамінним для молодняка птиці через обмежену швидкість його синтезу в цей період [26]. Аналогічно, цистеїн і тирозин стають незамінними за дефіциту їхніх попередників – метіоніну та фенілаланіну відповідно [27; 28].

Замінні амінокислоти синтезуються ендогенно, проте вони є критично важливими для регуляції метаболізму та підтримання цілісності тканин. До цієї категорії належать гліцин, серин, пролін, тирозин, аланін, глутамін, глутамат, аспартат, аспарагін та цистеїн [1, 25; 29].

Амінокислоти є фундаментальними регуляторами багатьох фізіологічних процесів, що виходять за межі простого синтезу структурних білків. Вони беруть участь у продукуванні ензимів, гормонів та ключових нейромедіаторів. У практичній нутриціології дефіцит навіть однієї незамінної амінокислоти стає лімітуючим фактором для синтезу всього білкового ланцюга, що призводить до каскадного зниження показників росту. У раціонах на основі рослинних інгредієнтів основними лімітуючими амінокислотами зазвичай виступають метіонін, лізин, треонін та триптофан [30]. Оптимальний рівень їх споживання варіюється залежно від генетики, періоду вирощування та напряму продуктивності. Порядок лімітування змінюється залежно від складу корму: раціони на основі ріпакового шроту зазвичай дефіцитні за лізином, пшенично-соеві – за лізином та треоніном, а кукурудзяно-соеві – за метіоніном [31].

Методологія вимірювання засвоюваності амінокислот. Історично склалося так, що якість білка та доступність амінокислот у кормах для тварин оцінювали за принципом різниці нутрієнтів між отриманими з кормом і виведеними в екскрементах. Однак цей підхід має критичні обмеження для птиці через значну ферментацію в сліпих кишках, яка кардинально змінює початковий амінокислотний профіль протеїну, а також через виведення азоту із сечею, що виділяється разом із калом [32]. Внаслідок цього перетравність амінокислот у клубовій кишці стала загально визнаним стандартом. Вона дозволяє оцінити чисте поглинання

поживних речовин до того, як вони піддаються мікробній трансформації в товстому відділі кишечника [33]. Цей методологічний зсув забезпечує більш пряму та об'єктивну оцінку реальної поживної цінності корму. У сучасній нутриціології розрізняють три ключові показники ілеальної перетравності амінокислот: видиму (AID), стандартизовану (SIAAD) та справжню (TID) [34].

Видима засвоюваність амінокислот (AID) розраховується як різниця між кількістю спожитих амінокислот та загальним їх вмістом у хімосі кінцевого відділу клубової кишки [34]. Ключова особливість AID полягає в тому, що загальний потік включає як неперетравлені залишки корму, так і ендogenous амінокислоти (ферменти, слиз, злушений епітелій), які не були реабсорбовані.

Головним обмеженням AID є нездатність розрізнити ці два потоки, що призводить до систематичної недооцінки коефіцієнтів перетравності. Це особливо помітно в раціонах з низьким рівнем протеїну, або при використанні інгредієнтів з низькою біологічною цінністю, де частка ендogenous втрат у загальному потоці є домінуючою [35; 36]. Як наслідок, значення AID не є адитивними у складних рецептурах змішаних кормів де сумарна перетравність не дорівнює сумі часток окремих інгредієнтів, що робить цей показник непридатним для прецизійного складання раціонів [37].

Стандартизована засвоюваність (SIAAD) розраховується шляхом корекції значень AID лише на базальні ендogenous втрати (неминучі втрати амінокислот, що виникають внаслідок нормальних фізіологічних процесів – секреція травних ферментів, жовчі, оновлення слизової оболонки, і не залежать від специфічного складу інгредієнта) [38; 39]. Цей підхід став «золотим стандартом» завдяки своїй високій точності. Дослідження Cowieson et al., 2019 [40] продемонстрували, що якщо AID недооцінює якість кукурудзяно-соевих раціонів приблизно на 7%, то застосування SIAAD знижує похибку прогнозування до 1%. Адитивність SIAAD дозволяє нутриціологам точно балансувати раціони, включаючи інгредієнти з різною перетравністю без ризику непередбачуваних метаболічних наслідків [41].

Справжня засвоюваність (TID) спрямована на кількісну оцінку лише тих амінокислот, які були реально поглинуті з корму, шляхом корекції AID на всі ендogenous втрати і базальні, і специфічні (спричинені специфічними антинутрієнтами або характеристиками раціону – клітковина, фітати, лектини, таніни). Теоретично TID забезпечує найбільш стале значення для кожного інгредієнта, але його практичне використання обмежене через мінливість специфічних втрат та складність їх вимірювання [38; 42]. Хоча термін TID іноді використовують як синонім до SIAAD, сучасний консенсус чітко їх розрізняє: SIAAD коригує лише на рівень базальних ендogenous втрат, що робить його більш практичним та адитивним показником для комерційного птахівництва [43].

На показники SIAAD та точність оцінки ендogenous потоку амінокислот впливає низка екзогенних та ендogenous чинників. Зокрема це методи підготовки сировини які змінюють фізико-хімічні властивості інгредієнтів, що безпосередньо відбивається на доступності амінокислот. [44]. Так, екструзія повножирової сої при температурах 90–160°C підвищує коефіцієнт перетравності лізину з 0,58 до 0,86 [45]. Надмірне нагрівання (понад 88°C впродовж 1 хв) ініціює реакції Майяра та рацемізацію амінокислот з утворенням D-ізомерів, які мають низьку біологічну цінність [46; 47; 48]. Найбільш вразливою до перегріву є ϵ -аміногрупа лізину, особливо у післяспиртовій барді та бавовняному шроті [49; 50].

Сучасні проблеми та інноваційні виклики в оптимізації живлення. Незважаючи на прогрес, зміни потреб у амінокислотах залежно від виду та стадії росту

птиці залишаються головною перешкодою для уніфікації раціонів, що вимагає впровадження систем точного їх формування [51; 52]. На біодоступність нутрієнтів суттєво впливають методи обробки сировини та присутність антипоживних речовин, що ускладнює об'єктивну оцінку рівня амінокислот у готовому кормі [53–54]. Важливим екологічним викликом є виділення азоту, як побічного продукту білкового метаболізму, надмірні його втрати призводять до емісії аміаку, що спричиняє забруднення повітря та води [55]. Оптимізація амінокислотних профілів дозволяє знизити рівень сирого протеїну, ефективно мінімізуючи екологічне навантаження [56]. Водночас вартість синтетичних амінокислот часто є обмежувальним фактором, особливо в умовах дефіциту ресурсів, що змушує виробників шукати баланс між рентабельністю та фізіологічною доцільністю [57].

Нещодавні інновації спрямовані на розробку хелатних та інкапсульованих форм амінокислот для підвищення їхньої метаболічної стабільності [58]. Дослідження підтверджують, що використання інкапсульованого L-лізину та DL-метіоніну, навіть на рівні 60–80% від встановлених норм, дозволяє підтримувати висоту ворсинок порожньої кишки та експресію транспортерів амінокислот без втрати продуктивності [59; 60]. У племінному птахівництві обмеження годівлі для регуляції репродуктивної функції часто спричиняє дефіцит метаболічних резервів, що негативно впливає на стан птиці [61; 62]. Крім того, глобальна заборона антибіотиків, як стимуляторів росту, погіршила конверсію корму, посиливши роль прецизійних раціонів на основі амінокислот у підтримці здоров'я кишечника [63].

Інноваційна стратегія *in-ovo* живлення як старт метаболічного потенціалу. Технологія *in-ovo* живлення відкриває нові можливості, забезпечуючи ембріон критичними нутрієнтами ще до вилуплення [64; 65]. Внесення 3,5 мг цистеїну на яйце на 18-й день інкубації не лише підвищує рівень виводимості, а й зміцнює антиоксидантний статус курчат. Суміш цистеїну (1,7 мг) та лізину (1 мг) забезпечує синергетичний ефект, покращуючи морфологію дванадцятипалої кишки (висоту ворсинок) та швидкість росту у стартовий період [66]. Застосування L-треоніну *in-ovo* (3 г/кг) стимулює розвиток імунних органів (селезінки та тимуса), що критично для формування ранньої імунної резистентності [67; 68].

Роль амінокислот виходить за межі прямого живлення господаря, оскільки вони є субстратом для кишкової мікрофлори. Кишкова мікробіота бере участь в обміні амінокислот, синтезуючи певні незамінні амінокислоти та ферментуючи неперетравлені залишки протеїну [69]. Неперетравлені амінокислоти, що потрапляють у товстий кишечник, можуть провокувати проліферацію патогенів, або навпаки, сприяти синтезу корисних коротколанцюгових жирних кислот [70; 71]. Зокрема, триптофан через індольні сполуки модулює імунітет слизової оболонки, а треонін є ключовим для синтезу муцину, який захищає епітелій та створює нішу для корисних бактерій (*Lactobacillus*) [72; 73].

Роль екзогенних ферментів в амінокислотному живленні. У сучасному птахівництві, де вартість білкових компонентів є домінуючою статтею витрат, екзогенні ферменти стали обов'язковим інструментом в оптимізації раціонів [74]. Вони компенсують відсутність у птиці ендогенних ензимів для розщеплення некрохмальних полісахаридів та фітатів [75].

Фітаза не лише вивільняє фосфор, а й руйнує фітат-білкові комплекси [76]. Фітинова кислота є потужним антинутрієнтом, так її високий рівень у раціоні (8,5–14,5 г/кг) може збільшити ендогенні втрати амінокислот на 68% [77]. Додавання фітази (500–1000 FTU/кг) підвищує засвоюваність загальних валіну, треоніну та ізолейцину на 2–5,6% [78], треоніну на 15,7%, а метіоніну на 5,45% [79].

Це досягається через підвищення розчинності білка та зменшення надмірної секреції муцину [80].

Протеази безпосередньо розщеплюють пептидні зв'язки, перетворюючи складні білки на пептиди та вільні амінокислоти. Введення мікробної протеази в дозі 30000 NFP/кг підвищує перетравність сирого протеїну на 2,5%, що дозволяє ефективно використовувати раціони з низьким вмістом білка [81].

Карбогідрози (ксилаза, β -глюканаза) руйнують клітинні стінки рослин та знижують в'язкість хімусу [82]. Зниження в'язкості на 37% сприяє кращому контакту ендогенних ферментів із субстратом, що підвищує засвоюваність азоту та енергії [83].

Максимальний ефект досягається при поєднанні ферментів, так комбінація ксилази та фітази у пшеничних раціонах підвищує перетравність 14 амінокислот на 8,6%, що значно перевищує адитивний ефект окремих компонентів [84]. Ксилаза полегшує доступ фітази до субстрату, розщеплюючи арабіноксилани клітинних стінок. Це дозволяє нутриціологам не лише знижувати вартість корму, а й мінімізувати екологічне навантаження через зменшення екскреції азоту в навколишнє середовище [85; 86].

Екологічні аспекти амінокислотного живлення у птахівництві. Амінокислотне живлення є ключовим важелем впливу птахівництва на довкілля [1]. Центральною ланкою цього зв'язку є метаболізм азоту – птиця виводить надлишки азоту переважно у вигляді сечової кислоти та сечовини [87]. Коли надходження амінокислот перевищує метаболічні потреби, надлишковий азот стає джерелом екологічних проблем, таких як викиди аміаку, підкислення ґрунтів та евтрофікація водойм [88]. Оптимізація амінокислотного профілю дозволяє мінімізувати ці ризики, підтримуючи при цьому високі темпи росту птиці [119].

Стратегії мінімізації екологічного навантаження базуються на впровадженні прецизійної годівлі та фазових раціонів, що дозволяють максимально точно адаптувати надходження поживних речовин відповідно до фізіологічних потреб птиці. Використання 11-фазового режиму годівлі бройлерів значно знижує споживання сирого протеїну та екскрецію азоту, не погіршуючи вихід тушки [90]. Це доводить, що точна відповідність потребам є ефективнішим за традиційні статичні раціони [91]. Перехід на критично низький рівень сирого протеїну в раціонах потребує врахування низки нових чинників живлення, так різниця у швидкості всмоктування вільних та зв'язаних амінокислот може порушувати динаміку травлення та спричиняти метаболічний дисбаланс [123]. Зокрема, необхідно контролювати співвідношення крохмалю до протеїну, що безпосередньо впливає на кінетику засвоєння поживних речовин [93]. Окрему увагу слід приділяти електролітному балансу (dEB), адже застосування лізину та гістидину у формі гідрохлоридів підвищує рівень хлоридів у організмі, що вимагає ретельного коригування складу раціону для підтримання гомеостазу [94].

Використання синтетичних амінокислот дозволяє знизити рівень загального білка в кормі, зменшуючи потребу в дорогих високобілкових інгредієнтах [95]. На кожне зниження сирого протеїну у раціоні на 1% викиди азоту в навколишнє середовище зменшуються на **10–13%** [96; 97]. Зокрема, зниження сирого протеїну з 18% до 15% у фінішних раціонах з додаванням амінокислот зменшує викиди азоту на 21% без втрати якості м'яса [98]. Додаткове введення гліцину до раціонів, з критично низьким вмістом протеїну (170–150 г/кг), дозволяє досягти зниження екскреції азоту на 16 г на кожну голову за цикл вирощування [99].

Основним економічним стимулом переходу до раціонів із низьким рівнем сирого протеїну є мінімізація використання соєвого шроту, що для країн-імпортерів

сої є не лише питанням зниження собівартості, а й шляхом до екологічної сталості через зменшення вуглецевого сліду та запобігання вирубуванню лісів [100]. Однак практична реалізація цієї стратегії стикається з низкою викликів: це і ризик зниження продуктивності внаслідок погіршення конверсії корму та виходу грудних м'язів [101]. Щодо коригування зернової бази дослідження показують, що кукурудзяні раціони забезпечують кращу конверсію корму, ніж пшеничні. Це пояснюється різною засвоюваністю крохмалю та вищою часткою незв'язаних амінокислот у пшеничних раціонах [102].

Перспективи майбутніх досліджень. Майбутній розвиток сфери амінокислотного живлення зосереджений на глибшому аналізі засвоюваності компонентів із альтернативних джерел, зокрема комах та рослинних заміників сої [103]. Паралельно значна увага приділяється дослідженню функцій кишкової мікрофлори у процесах синтезу амінокислот, що дасть змогу створювати спеціалізовані пробіотики для оптимізації обміну речовин [104; 105]. Водночас впровадження систем штучного інтелекту для оперативного моніторингу стану здоров'я птиці дозволить коригувати склад раціонів у реальному часі, що не лише підвищить ефективність годівлі, а й суттєво зменшить екологічне навантаження через мінімізацію викидів азоту та фосфору [106].

Висновки. 1. Перехід до нормування раціонів за показниками SIAAD є фундаментальною умовою прецизійного живлення, оскільки цей метод враховує базальні ендогенні втрати та забезпечує точне прогнозування засвоюваності амінокислот у складних кормосумішах.

2. Функціональне значення амінокислот виходить за межі пластичного обміну: вони виступають критичними регуляторами кишкового бар'єру, антиоксидантного захисту та імунної відповіді.

3. Використання екзогенних ферментів, або їх комбінацій забезпечує синергетичний ефект, підвищуючи засвоюваність амінокислот на 2–8% шляхом руйнування антипоживних комплексів та зниження в'язкості хімусу.

4. Впровадження низькопротеїнових раціонів, збалансованих синтетичними амінокислотами, є найбільш ефективною стратегією зниження екологічного навантаження, що дозволяє зменшити викиди азоту в довкілля на 10-21%.

5. Майбутній розвиток галузі пов'язаний із освоєнням альтернативних джерел білка, впровадженням систем штучного інтелекту для моніторингу метаболізму в реальному часі та використанням технологій *in-ovo* для програмування продуктивного потенціалу птиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. He W., Li P., Wu G. Amino Acid Nutrition and Metabolism in Chickens. *Adv. Exp. Med. Biol.* 2021. Vol. 1285. P. 109–131.
2. Kálmán A., Szöllösi L. Global tendencies in turkey meat production, trade and consumption. *Acta Agrar. Debreceniensis.* 2023. No. 2. P. 83–89.
3. Réhault-Godbert S., Guyot N., Nys Y. The golden egg: Nutritional value, bioactivities, and emerging benefits for human health. *Nutrients.* 2019. Vol. 11, No. 3. P. 684.
4. Coming to terms: Meat's role in a healthful diet / S. McNeill et al. *Anim. Front.* 2017. Vol. 7, No. 4. P. 34–42.
5. Kelly B., Pearce E. L. Amino Assets: How Amino Acids Support Immunity. *Cell Metab.* 2020. Vol. 32, No. 2. P. 154–175.
6. Functional properties of amino acids: Improve health status and sustainability / J. T. Lee et al. *Poult. Sci.* 2022. Vol. 102, No. 2. P. 102288.

7. Cappelae L., Le Cour Grandmaison J., Martin N., Lambert W. Amino Acid Supplementation to Reduce Environmental Impacts of Broiler and Pig Production: A Review. *Front. Vet. Sci.* 2021. Vol. 8. P. 689259.
8. Zampiga M., Calini F., Sirri F. Importance of feed efficiency for sustainable intensification of chicken meat production: Implications and role for amino acids, feed enzymes and organic trace minerals. *World's Poult. Sci. J.* 2021. Vol. 77, No. 3. P. 639–659.
9. Reduction of nitrogen excretion and emissions from poultry: A review for conventional poultry / V. I. Chalova et al. *World's Poult. Sci. J.* 2016. Vol. 72, No. 3. P. 509–520.
10. Bailey C. A. Precision poultry nutrition and feed formulation. *Animal Agriculture*. New York, NY, USA : Academic Press, 2020. P. 367–378.
11. Kidd M. T., Maynard C. W., Mullenix G. Progress of amino acid nutrition for diet protein reduction in poultry. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2021. Vol. 12. P. 45.
12. Selle P. H., Macelline S. P., Chrystal P. V., Liu S. Y. A reappraisal of amino acids in broiler chicken nutrition. *World's Poult. Sci. J.* 2023. Vol. 79, No. 3. P. 429–447.
13. Cheng S., Langrish T. A. G. A Review of the Treatments to Reduce Anti-Nutritional Factors and Fluidized Bed Drying of Pulses. *Foods.* 2025. Vol. 14, No. 5. P. 681.
14. Anti-nutritional compounds in pulses: Implications and alleviation methods / Y. Kumar et al. *Legume Sci.* 2022. Vol. 4, No. 1. P. e111.
15. Characterization of zinc amino acid complexes for zinc delivery in vitro using Caco-2 cells and enterocytes from hiPSC / A. K. Sauer et al. *Biomaterials.* 2017. Vol. 30. P. 643–661.
16. Jacob R., Afify A., Shanab S., Shalaby E. Chelated amino acids: Biomass sources, preparation, properties, and biological activities. *Biomass Convers. Biorefinery.* 2022. Vol. 14. P. 2907–2921.
17. Kriseldi R., Tillman P. B., Jiang Z., Dozier W. A. Effects of feeding reduced crude protein diets on growth performance, nitrogen excretion, and plasma uric acid concentration of broiler chicks during the starter period. *Poult. Sci.* 2018. Vol. 97, No. 5. P. 1614–1626.
18. Feeding broiler chickens with arginine above recommended levels: effects on growth performance, metabolism, and intestinal microbiota / G. Brugaletta et al. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2023. Vol. 14. P. 33.
19. World Agriculture Towards 2030/2050: the 2012 Revision. *ESA Working Paper No. 12-03*. Rome : Food and Agriculture Organization (FAO), 2012. 154 p.
20. Climate change and food security: risks and responses / Food and Agriculture Organization (FAO). Rome : FAO, 2015. URL: <https://openknowledge.fao.org/items/8d799d5f-60e4-4ff9-87dd-d33289abb48> (дата звернення: 15.02.2026)
21. Severe climate change risks to food security and nutrition / A. Mirzabaev et al. *Clim. Risk. Manage.* 2023. Vol. 39. Article 100473.
22. The European Green Deal : communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions / European Commission. Brussels, 2019. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (дата звернення: 10.03.2026)
23. Mou Q., Yang H. S., Yin Y. L., Huang P. F. Amino Acids Influencing Intestinal Development and Health of the Piglets. *Animals.* 2019. Vol. 9, No. 6. P. 302.
24. Amino Acids in Swine Nutrition and Production / Q. Zhang et al. *Adv. Exp. Med. Biol.* 2021. Vol. 1285. P. 81–107.
25. New developments in fish amino acid nutrition: Towards functional and environmentally oriented aquafeeds / P. Li et al. *Amino Acids.* 2009. Vol. 37, No. 1. P. 43–53.
26. Nutritional significance of amino acids, vitamins and minerals as nutraceuticals in poultry production and health – A comprehensive review / M. Alagawany et al. *Vet. Q.* 2020. Vol. 41, No. 1. P. 1–29.

27. Methionine to cystine ratio in the total sulfur amino acid requirements and sulfur amino acid metabolism using labelled amino acid approach for broilers / L. G. Pacheco et al. *BMC Vet. Res.* 2018. Vol. 14. P. 364.
28. Nte I. J., Gunn H. H. Cysteine in Broiler Poultry Nutrition. *Bioactive Compounds – Biosynthesis, Characterization and Applications* / ed.: L. Queiroz Zepka, T. Casagrande Do Nascimento, E. Jacob-Lopes. Rijeka, Croatia : IntechOpen, 2021.
29. Gupta S. K., Giri S. S. *Biotechnological Advances in Aquaculture Health Management*. Berlin/Heidelberg, Germany : Springer, 2021. 538 p.
30. Ravindran V. Poultry feed availability and nutrition in developing countries *Advances in poultry nutrition. Poult. Dev. Rev.* 2010. Vol. 2. P. 60–63.
31. Khajali F., Slominski B. A. Factors that affect the nutritive value of canola meal for poultry. *Poult. Sci.* 2012. Vol. 91, No. 10. P. 2564–2575.
32. Influence of Age on the Standardized Ileal Amino Acid Digestibility of Corn and Barley in Broilers / M. Barua et al. *Animals*. 2021. Vol. 11, No. 12. Art. 3575.
33. Glycine regulates mucosal immunity and the intestinal microbial composition in weaned piglets / Y. Ji et al. *Amino Acids*. 2022. Vol. 54, No. 3. P. 385–398.
34. Definition of apparent, true, and standardized ileal digestibility of amino acids in pigs / H. Stein et al. *Livest. Sci.* 2007. Vol. 109, No. 1–3. P. 282–285.
35. Factors affecting endogenous amino acid flow in chickens and the need for consistency in methodology / S. A. Adedokun et al. *Poult. Sci.* 2011. Vol. 90, No. 8. P. 1737–1748.
36. Parsons C. M. Unresolved issues for amino acid digestibility in poultry nutrition. *J. Appl. Poult. Res.* 2020. Vol. 29, No. 1. P. 1–10.
37. Determination of standardised ileal digestibility of amino acids in high-fibre feedstuffs and additivity of apparent and standardised ileal amino acids digestibility of diets containing mixtures of maize, sorghum, and soybean meal / O. A. Olukosi et al. *Br. Poult. Sci.* 2023. Vol. 64, No. 3. P. 409–418.
38. Ravindran V. Progress in ileal endogenous amino acid flow research in poultry. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2021. Vol. 12. P. 5.
39. McDonald P. et al. *Animal Nutrition*. 7th ed. London, UK : Pearson Education, 2021. 712 p.
40. Additivity of apparent and standardized ileal amino acid digestibility of corn and soybean meal in broiler diets / A. Cowieson et al. *Poult. Sci.* 2019. Vol. 98, No. 9. P. 3722–3728.
41. Kong C., Adeola O. Additivity of amino acid digestibility in corn and soybean meal for broiler chickens and White Pekin ducks. *Poult. Sci.* 2013. Vol. 92, No. 9. P. 2381–2388.
42. Lemme A., Ravindran V., Bryden W. L. Ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broilers. *World's Poult. Sci. J.* 2004. Vol. 60, No. 4. P. 423–438.
43. Yoon J. H., Kong C. Comparison of methods for estimating basal endogenous losses of amino acids and additivity of digestibility of amino acids in corn and soybean meal for broilers. *Anim. Nutr.* 2023. Vol. 15. P. 233–241.
44. Additivity of Ileal Amino Acid Digestibility in Diets Containing Corn, Soybean Meal, and Corn Distillers Dried Grains with Solubles for Male Broilers / S. H. An et al. *Animals*. 2020. Vol. 10, No. 6. Art. 933.
45. Clarke E., Wiseman J. Effects of extrusion conditions on trypsin inhibitor activity of full fat soybeans and subsequent effects on their nutritional value for young broilers. *Br. Poult. Sci.* 2007. Vol. 48, No. 6. P. 703–712.
46. The effect of varying steam conditioning temperature and time on pellet manufacture variables, true amino acid digestibility, and feed enzyme recovery / T. Boltz et al. *J. Appl. Poult. Res.* 2020. Vol. 29, No. 2. P. 328–338.
47. Treatments and Its Effect on Growth Performance and Nutrient Digestibility in Broiler Chickens / F. Hemetsberger et al. *Animals*. 2021. Vol. 11, No. 9. Art. 2668.
48. Autoclaving time-related reduction in amino acid digestibility of poultry meal in broiler chickens and growing pigs / J. Y. Sung et al. *J. Anim. Sci.* 2024. Vol. 102. Art. skad415.

49. Investigating the effect of dietary calcium levels on ileal endogenous amino acid losses and standardized ileal amino acid digestibility in broilers and laying hens / S. A. Adedokun et al. *Poult. Sci.* 2018. Vol. 97, No. 1. P. 131–139.
50. Concentrations of digestible and metabolizable energy and amino acid digestibility by growing pigs may be reduced by autoclaving soybean meal / M. S. F. Oliveira et al. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2020. Vol. 269. Art. 114621.
51. The dynamics of body composition and body energy content in broilers / J. V. Caldas et al. *Poult. Sci.* 2019. Vol. 98, No. 2. P. 866–877.
52. Assessment of the dietary amino acid profiles and the relative biomarkers for amino acid balance in the low-protein diets for broiler chickens / B. Wang et al. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2024. Vol. 15. Art. 157.
53. Pratama R. I., Rostini I., Andriani Y., Dewanti L. P. A review on protein quality and bioavailability of amino acids. *Int. J. All Res. Writ.* 2021. Vol. 3, No. 3. P. 90–97.
54. Sarwar Gilani G., Wu Xiao C., Cockell K. A. Impact of Antinutritional Factors in Food Proteins on the Digestibility of Protein and the Bioavailability of Amino Acids and on Protein Quality. *Br. J. Nutr.* 2012. Vol. 108, No. S2. P. S315–S332.
55. Effect of dietary protein level on nitrogen excretion in dry cows / P. A. Madsen et al. *Livest. Sci.* 2022. Vol. 262. Art. 104972.
56. Precision feeding and precision nutrition: A paradigm shift in broiler feed formulation? / A. F. Moss et al. *Anim. Biosci.* 2021. Vol. 34, No. 3. P. 354–362.
57. Burley H. K., Patterson P. H., Anderson K. E. Alternative ingredients for providing adequate methionine in organic poultry diets in the United States with limited synthetic amino acid use. *World's Poult. Sci. J.* 2015. Vol. 71, No. 3. P. 493–504.
58. Nano-encapsulation of essential amino acids: Ruminal methane, carbon monoxide, hydrogen sulfide and fermentation / J. A. C. De Jesús et al. *AMB Express.* 2024. Vol. 14. Art. 109.
59. Encapsulated crystalline lysine and DL-methionine have higher efficiency than the crystalline form in broilers / M. Sun et al. *Poult. Sci.* 2020. Vol. 99, No. 12. P. 6914–6924.
60. Use of encapsulated L-lysine-HCl and DL-methionine improves postprandial amino acid balance in laying hens / M. Sun et al. *J. Anim. Sci.* 2020. Vol. 98. Art. skaa315.
61. Korver D. R. Review: Current challenges in poultry nutrition, health, and welfare. *Animal.* 2023. Vol. 17, No. S1. Art. 100755.
62. Evolution of maternal feed restriction practices over 60 years of selection for broiler productivity / V. L. Carney et al. *Poult. Sci.* 2022. Vol. 101, No. 8. Art. 101957.
63. Withdrawal of antibiotic growth promoters from broiler diets: Performance indexes and economic impact / K. Maria Cardinal et al. *Poult. Sci.* 2019. Vol. 98, No. 12. P. 6659–6667.
64. Das R., Mishra P., Jha R. In ovo Feeding as a Tool for Improving Performance and Gut Health of Poultry: A Review. *Front. Vet. Sci.* 2021. Vol. 8. Art. 754246.
65. In ovo feeding technique of probiotics in broiler chickens: Achievements, Prospective and Challenges / M. M. N. Ahmed et al. *SVU-Int. J. Agric. Sci.* 2023. Vol. 5, No. 2. P. 95–126.
66. Evaluation of in ovo feeding of low or high mixtures of cysteine and lysine on performance, intestinal morphology and physiological responses of thermal-challenged broiler embryos / O. I. Ajayi et al. *Front. Physiol.* 2022. Vol. 13. Art. 972041.
67. Eisa G. et al. Effect of In ovo Injection of L-Threonine on Hatchability Followed by post-hatch Extra Level of Dietary Threonine on the Performance of Broilers. *J. Adv. Vet. Res.* 2022. Vol. 12, No. 5. P. 605–612.
68. In ovo feeding: A review / L. K. Silva Alves et al. *Veterinária Notícias.* 2020. Vol. 26, No. 1. Art. 18.
69. Fermentation and Metabolism of Dietary Protein by Intestinal Microorganisms / K. Zhang et al. *Curr. Protein Pept. Sci.* 2020. Vol. 21, No. 8. P. 807–811.
70. Systematic profiling of the chicken gut microbiome reveals dietary supplementation with antibiotics alters expression of multiple microbial pathways with

minimal impact on community structure / A. Zou et al. *Microbiome*. 2022. Vol. 10. Art. 127.

71. Metabolites of dietary protein and peptides by intestinal microbes and their impacts on gut / P. Fan et al. *Curr. Protein Pept. Sci.* 2015. Vol. 16, No. 7. P. 646–654.

72. Methionine alters the fecal microbiota and enhances the antioxidant capacity of lactating donkeys / F. Huang et al. *Animals*. 2025. Vol. 15, No. 5. Art. 648.

73. D-methionine alleviates cisplatin-induced mucositis by restoring the gut microbiota structure and improving intestinal inflammation / C. H. Wu et al. *Ther. Adv. Med. Oncol.* 2019. Vol. 11. Art. 1758835918821021.

74. Worm meal: A potential source of alternative protein in poultry feed / S. Khan et al. *World's Poult. Sci. J.* 2016. Vol. 72, No. 1. P. 93–102.

75. Exogenous Enzymes as Zootechnical Additives in Animal Feed: A Review / B. S. Velázquez-De Lucio et al. *Catalysts*. 2021. Vol. 11, No. 7. Art. 851.

76. Vats P. Production studies and catalytic properties of phytases (myo-inositolhexakisphosphate phosphohydrolases): An overview. *Enzym. Microb. Technol.* 2004. Vol. 35, No. 1. P. 3–14.

77. Cowieson A., Ravindran V. Effect of phytic acid and microbial phytase on the flow and amino acid composition of endogenous protein at the terminal ileum of growing broiler chickens. *Br. J. Nutr.* 2007. Vol. 98, No. 4. P. 745–752.

78. Influence of an Escherichia coli-Derived Phytase on Nutrient Utilization in Broiler Starters Fed Diets Containing Varying Concentrations of Phytic Acid / V. Ravindran et al. *Poult. Sci.* 2006. Vol. 85, No. 1. P. 82–89.

79. Effect of calcium level and phytase addition on ileal phytate degradation and amino acid digestibility of broilers fed corn-based diets / A. M. Amerah et al. *Poult. Sci.* 2014. Vol. 93, No. 4. P. 906–915.

80. Phytate and phytase: Consequences for protein utilisation / P. H. Selle et al. *Nutr. Res. Rev.* 2000. Vol. 13, No. 2. P. 255–278.

81. Effects of protease enzyme supplementation and varying levels of amino acid inclusion on productive performance, egg quality, and amino acid digestibility in laying hens from 30 to 50 weeks of age / I. Poudel et al. *Poult. Sci.* 2023. Vol. 102, No. 3. Art. 102465.

82. Ojha B. K., Singh P. K., Shrivastava N. Chapter 7 – Enzymes in the Animal Feed Industry. *Enzymes in Food Biotechnology* / ed. M. Kuddus. Cambridge, MA : Academic Press, 2019. P. 93–109.

83. Moita V. H. C., Kim S. W. Nutritional and Functional Roles of Phytase and Xylanase Enhancing the Intestinal Health and Growth of Nursery Pigs and Broiler Chickens. *Animals*. 2022. Vol. 12, No. 23. Art. 3322.

84. Beneficial effects of xylanase and/or phytase inclusions on ileal amino acid digestibility, energy utilisation, mineral retention and growth performance in wheat-based broiler diets / P. H. Selle et al. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2009. Vol. 153, No. 3-4. P. 303–313.

85. Effects of Low-Protein Diets and Exogenous Protease on Growth Performance, Carcass Traits, Intestinal Morphology, Cecal Volatile Fatty Acids and Serum Parameters in Broilers / G. Ndazigaruye et al. *Animals*. 2019. Vol. 9, No. 5. Art. 226.

86. Effect of Protease Supplementation on Growth Performances, Carcass and Meat Quality Characteristics of Broiler Chicken Fed with Low Protein Diets / T. D. L. M. Sumanasekara et al. *Sri Lankan J. Agric. Ecosyst.* 2020. Vol. 2, No. 1. P. 122–140.

87. Effect of Feeding Low Protein Diets on the Production Traits and the Nitrogen Composition of Excreta of Broiler Chickens / N. Such et al. *Agriculture*. 2021. Vol. 11, No. 8. Art. 781.

88. Meadows R. Curbing livestock emissions: Ammonia, greenhouse gases, and odors. *CSA News*. 2016. Vol. 61, No. 5. P. 8–11.

89. Amino Acid Supplementation to Reduce Environmental Impacts of Broiler and Pig Production: A Review / L. Cappelaere et al. *Front. Vet. Sci.* 2021. Vol. 8. Art. 689259.

90. Growth performance and nitrogen excretion of broilers using a phase-feeding approach from twenty-one to sixty-three days of age / T. Pope et al. *Poult. Sci.* 2004. Vol. 83, No. 4. P. 676–682.
91. Precision feeding and precision nutrition: A paradigm shift in broiler feed formulation? / A. F. Moss et al. *Anim. Biosci.* 2021. Vol. 34, No. 3. P. 354–362.
92. Feeding intact proteins, peptides, or free amino acids to monogastric farm animals / F. A. Eugenio et al. *Amino Acids.* 2022. Vol. 54, No. 2. P. 157–168.
93. The influence of non-bound amino acid inclusions and starch-protein digestive dynamics on growth performance of broiler chickens offered wheat-based diets with two crude protein concentrations / S. P. Macelline et al. *Anim. Nutr.* 2023. Vol. 15. P. 399–408.
94. Reducing dietary crude protein in broiler diets positively affects litter quality without compromising growth performance whereas a reduction in dietary electrolyte balance further improves litter quality but worsens feed efficiency / W. Lambert et al. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2023. Vol. 297. Art. 115571.
95. Oluwabiye C. T., Song Z. Branched-chain amino acids supplementation in low-protein broiler diets: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2024. Vol. 318. Art. 116114.
96. Reducing the CP content in broiler feeds: Impact on animal performance, meat quality and nitrogen utilization / P. Belloir et al. *Animal.* 2017. Vol. 11, No. 11. P. 1881–1889.
97. Meta-analysis of the effect of low-protein diets on the growth performance, nitrogen excretion, and fat deposition in broilers / T. de Rauglaudre et al. *Front. Anim. Sci.* 2023. Vol. 4. Art. 1152061.
98. Multiple Amino Acid Supplementations to Low-Protein Diets: Effect on Performance, Carcass Yield, Meat Quality and Nitrogen Excretion of Finishing Broilers under Hot Climate Conditions / Y. A. Attia et al. *Animals.* 2020. Vol. 10, No. 6. Art. 973.
99. Low-protein diets for broilers: Current knowledge and potential strategies to improve performance and health, and to reduce environmental impact / T. Woyengo et al. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2023. Vol. 297. Art. 115574.
100. Massive soybean expansion in South America since 2000 and implications for conservation / X. P. Song et al. *Nat. Sustain.* 2021. Vol. 4, No. 9. P. 784–792.
101. Effect of low protein diets supplemented with free amino acids on growth performance, slaughter yield, litter quality, and footpad lesions of male broilers / J. van Harn et al. *Poult. Sci.* 2019. Vol. 98, No. 10. P. 4868–4877.
102. Maize-based diets are more conducive to crude protein reductions than wheat-based diets for broiler chickens / P. V. Chrystal et al. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2021. Vol. 275. Art. 114867.
103. Insect Meal as an Alternative to Protein Concentrates in Poultry Nutrition with Future Perspectives (An Updated Review) / Q. U. A. Sajid et al. *Agriculture.* 2023. Vol. 13, No. 6. Art. 1239.
104. Salter A. M., Lopez-Viso C. Role of novel protein sources in sustainably meeting future global requirements. *Proc. Nutr. Soc.* 2021. Vol. 80, No. 2. P. 186–194.
105. Chicken Gut Microbiota: Importance and Detection Technology / Y. Shang et al. *Front. Vet. Sci.* 2018. Vol. 5. Art. 254.
106. Reduction of nitrogen excretion and emissions from poultry: A review for conventional poultry / V. I. Chalova et al. *World's Poult. Sci. J.* 2016. Vol. 72, No. 3. P. 509–520.

Дата першого надходження статті до видання: 01.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 01.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026