

УДК 636.52/58:577.112.37:636.087.7

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.1.31>

АМІНОКИСЛОТИ З РОЗГАЛУЖЕНИМ ЛАНЦЮГОМ (ВСАА) У ГОДІВЛІ КУРЕЙ

Курдась П.І. – аспірант кафедри годівлі тварин та технології кормів
імені П.Д. Пшеничного,

Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0009-0001-2657-8965

Ільчук І.І. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри годівлі тварин та технології кормів імені П.Д. Пшеничного,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0003-0961-6613

Розглянуто вплив амінокислот з розгалуженим ланцюгом (ВСАА) на ріст, продуктивність, імунітет та морфологію кишківника птиці. Показано, що окрім забезпечення азотними субстратами та вуглецевим каркасом для енергетичного гомеостазу та трансамінування, ВСАА також функціонують як сигнальні молекули в регуляції синтезу глюкози, ліпідів та протеїну через протеїнкіназу В, а також як механістична мішень сигнального шляху рапаміцину (АКТ-мTOR), який важливий для нарощування м'язів. Рівень лейцину зазвичай високий у зернових, і дисбаланс у співвідношенні між ВСАА у низькопротеїновому раціоні негативно впливає на ріст птиці. Це відбувається через структурну подібність всіх трьох ВСАА, що призводить до метаболічної конкуренції та втручання у шлях ферментативного розщеплення. Включення ВСАА у раціон курей є важливим для належного функціонування вродженої та адаптивної імунної системи, а також підтримки цілісності слизової оболонки кишківника. Незважаючи на те, що рекомендовані рівні ВСАА для птиці визначені NRC (1994), на потребу в цих амінокислотах впливають тип раціону, порода та вік птиці. Крім того, кілька описаних досліджень зосереджувалися на впливі ВСАА у низькопротеїнових раціонах як стратегії зменшення виділення птицею азоту у навколишнє середовище. Примітно, що існує обмежена кількість досліджень щодо співвідношення включення ВСАА у додатковій формі порівняно з формою, пов'язаною з інгредієнтами, що може впливати на динаміку їх використання при різних захворюваннях, особливо тих, що впливають на коефіцієнт конверсії корму. Підсумовуючи, цей огляд охоплює роль ВСАА як функціональної амінокислоти та обговорює їх фізіологічний вплив на продуктивність та здоров'я птиці. Аналіз та інтерпретації цього огляду можуть бути основою для майбутніх досліджень щодо коригування рекомендованих рівнів ВСАА у програмах годівлі за відсутності субтерапевтичних антибіотиків у птиці.

Ключові слова: амінокислоти з розгалуженим ланцюгом, ВСАА, кури, перетравність, продуктивність, несучість, маса тіла, мікробіота кишківника.

Kurdas P.I., Ilchuk I.I. The relevance of using branched-chain amino acids (BCAA) in chicken feeding

The effect of branched-chain amino acids (BCAA) on growth, performance, immunity and morphology of the poultry intestine is considered. It is shown that in addition to providing nitrogen substrates and a carbon skeleton for energy homeostasis and transamination, BCAA also function as signaling molecules in the regulation of glucose, lipid and protein synthesis through protein kinase B, as well as as a mechanistic target of rapamycin signaling pathway (AKT-mTOR), which is important for muscle growth. Leucine levels are usually high in cereals, and an imbalance in the ratio between BCAAs in a low-protein diet negatively affects poultry growth. This is due to the structural similarity of all three BCAAs, which leads to metabolic competition and interference with the enzymatic cleavage pathway. The inclusion of BCAAs in the diet of chickens is important for the proper functioning of the innate and adaptive immune systems, as well as for the maintenance of intestinal mucosal integrity. Although recommended levels of BCAAs for poultry are defined by the NRC (1994), the requirement for these amino acids is influenced by

the type of diet, breed and age of the bird. In addition, several studies described have focused on the effect of BCAAs in low-protein diets as a strategy to reduce the excretion of nitrogen by the bird into the environment. It is noteworthy that there is a limited amount of research on the ratio of BCAA inclusion in supplemental form compared to the form associated with ingredients, which may affect the dynamics of their use in various diseases, especially those affecting feed conversion ratio. In summary, this review covers the role of BCAAs as functional amino acids and discusses their physiological effects on poultry performance and health. The observations and interpretations of this review may inform future research on adjusting recommended BCAA levels in feeding programs in the absence of subtherapeutic antibiotics in poultry.

Key words: branched-chain amino acids, BCAAs, chickens, digestibility, performance, egg production, body weight, gut microbiota.

Актуальність теми дослідження. Організму курей-несучок, як будь-якому іншому живому організму, необхідний білок для росту, несучості, імунітету, ферментативної активності, оновлення тканин та багатьох інших фізіологічних процесів [1]. Типово для незамінних амінокислот, амінокислоти з розгалуженим ланцюгом (BCAA), такі як ізолейцин та валін, дозволяють знизити рівень сирого протеїну у раціоні [2, 3], що є актуальним завданням, оскільки дозволяє зменшити надмірне споживання птицею води, яке часто необхідне для виділення підвищеного вмісту азоту [4]. Однак зниження рівня сирого протеїну у раціонах слід проводити лише після врахування мінімальних потреб птиці у незамінних амінокислотах, оскільки їх низький рівень у поєднанні з недостатнім синтезом може вплинути на фізіологічні функції та продуктивність [5]. Три BCAA (лейцин, ізолейцин та валін) також належать до категорії незамінних амінокислот. Усі BCAA структурно подібні до жирних кислот з розгалуженим ланцюгом і мають гідрофобний бічний ланцюг. Лейцин – це 2-аміно-4-метилпентанова кислота, ізолейцин – 2-аміно-3-метилпентанова кислота, а валін – 2-аміно-3-метилбутанова кислота [6].

На відміну від інших BCAA, валін є лімітуючою амінокислотою в кукурудзяно-соевому раціоні, і він більш схильний до антагонізму та ферментативного розщеплення, ніж ізолейцин, у відповідь на додавання лейцину до раціону. Таким чином, валін часто необхідно доповнювати в раціоні з низьким вмістом сирого протеїну [7]. Всі три BCAA структурно подібні та розкладаються в організмі курей спочатку розгалуженою амінотрансферазою, а потім розгалуженим α -кетокислотним дегідрогеназним комплексом, що викликає незворотний катаболізм до сполук коензиму А [8]. Стимуляція цієї ферментативної активності однією з BCAA, найчастіше лейцином, призводить до катаболізму інших BCAA, і таким чином надлишковий рівень окремих BCAA може призвести до деградації та дефіциту інших BCAA, присутніх у нижчій концентрації. Надлишковий рівень лейцину, і меншою мірою ізолейцину, погіршує ріст курей та використання інших BCAA, тоді як надлишок валіну не має суттєвого впливу на використання лейцину або ізолейцину [9].

Кормові інгредієнти, що входять до складу раціонів птиці, мають непропорційно високий рівень лейцину порівняно з іншими BCAA, що може спричинити дисбаланс у їх співвідношенні [10]. У випадку формування раціону з низьким вмістом сирого протеїну шляхом зменшення високопротеїнових компонентів та збільшення кількості злаків з високим вмістом лейцину, це збільшує ймовірність антагоністичного впливу лейцину на інші BCAA. Високий рівень лейцину з дисбалансом інших амінокислот може посилити їх деградацію та погіршити нарощування м'язів у птиці. Враховуючи мінімальні потреби в окремих BCAA, їх оптимальне співвідношення в низькопротеїновому раціоні може не відповідати належному співвідношенню в раціоні з високим вмістом протеїну.

Високопротеїновий раціон може бути краще використаний птицею на ранній фазі росту, і він забезпечить вищу концентрацію лімітуючої амінокислоти. Це може попередити проблеми, пов'язані з дефіцитом амінокислот, але цей високий рівень протеїну може не забезпечити належного використання ВСАА, що постачаються в низькій концентрації, або інших амінокислот, присутніх у надлишку. Однак, відомо, що дисбаланс у раціоні ВСАА негативно впливає, в першу чергу на ростучу птицю [10], але високий рівень лейцину може не проявляти шкідливого антагонізму до інших ВСАА, коли досягнуто адекватного рівня сирого протеїну шляхом виконання мінімальної потреби в ізолейцині та валіні [3].

Постановка проблеми. Аналіз впливу ВСАА на продуктивність, засвоєння поживних речовин, мікробіом та морфологію кишківника курей.

Дослідження виконано в рамках державної наукової теми Міністерства освіти і науки України 04493706 № 0124U000924.

Результати досліджень. ВСАА відіграють важливу роль у формуванні несучості курей, оскільки виробництво жовткового ліпопротеїну через метаболізм жирних кислот у печінці регулюється саме ними [11]. Потреби в ВСАА варіюються залежно від періоду росту та інтенсивності несучості курей. Нещодавно Macelline S.P. з колегами [11] переглянули потреби в амінокислотах у курей-несучок і повідомили про наявність невідповідностей щодо ізолейцину. За цього потреба у валіні становила 614 мг/гол/добу в загальному обсязі та 532 мг/голову в доступному вигляді, а споживання валіну з раціоном позитивно корелювало зі споживанням корму. У ранніх дослідженнях Machlin L.J. [12] показав, що потреба в лейцині для курей-несучок не повинна перевищувати 1 % від раціону, сформованого з 16 % сирого протеїну.

Цікаві дослідження були проведені Parenteau I.A. з колегами [13], які вивчали вплив додавання ізолейцину до раціону з низьким вмістом сирого протеїну (на 2 % менше) у курей з 20 по 46 тиждів. Автори виявили, що збільшення відсотка ізолейцину порівняно з лізином відновило втрату несучості за день (1-ша фаза 3,3 % та 2-га фаза 1,5 %) через раціон з низьким вмістом сирого протеїну порівняно з його адекватним вмістом. Більше того, 90 % вміст ізолейцину порівняно з лізином у вищезгаданому дослідженні призвів до отримання більшої частки великих яєць (56–63 г), і автори зазначили, що оптимальна реакція спостерігалася при додаванні ізолейцину для досягнення від 82 до 88 % вмісту лізину на основі стандартизованої засвоюваності у клубовій кишці. Цікаво, що концентрацію ізолейцину в раціоні можна було скоригувати для отримання яєць великого розміру, за рахунок несучості за день та компенсувати негативний вплив низького вмісту сирого протеїну на живу масу курей.

Peganova S. та Eder K. [14] виявили взаємодію між ізолейцином та включенням валіну та лейцину до раціону курей-несучок, де збільшення ізолейцину (0,57–1,15 %) при найнижчих рівнях валіну і лейцину (0,63 та 0,72 % відповідно) знижувало масу яєць та масу тіла, тоді як при високому рівні валіну і лейцину (1,01 та 1,15 % відповідно) високий вміст ізолейцину спричиняв лише незначне зниження продуктивності. Водночас, Dong X.Y. та ін. [15], які досліджували додавання доступного ізолейцину для збільшення вмісту з 0,54 до 0,94 % у раціоні з низьким вмістом перетравного протеїну (14 %), не виявили жодної різниці в продуктивності несучок, параметрах слизової оболонки їх кишківника та імунитеті.

Що стосується задокументованої потреби курей у ВСАА, то потреби в ізолейцині, лейцині та валіні для курей-несучок на підтримуючий період були визначені на рівні 94, 52 та 155 мг/кг (0,75 %)/добу, відповідно на основі метаболічної ваги

та 329, 172 та 546 мг/кг (сирого протеїну/добу) відповідно на основі метаболічного протеїну [16]. Водночас, у нещодавньому дослідженні [17], проведеному на несучках у період з 33 до 41 тижня, валін додавали на рівнях від 0,59 до 0,79 %, за споживання корму 100 г/гол/добу та виявили, що маса яйця, інтенсивність несучості та активність трипсину в дванадцятипалій кишці, а також рівні експресії генів-транспортерів амінокислот збільшувалися зі збільшенням споживання валіну, тоді як одиниці ХАУ, товщина шкаралупи, колір жовтка та імунні параметри знижувалися.

У дослідженнях, проведених на курчатах-бройлерах, Konashi S. з колегами [18] виявили, що 50 % дефіцит кожної з трьох ВСАА знижував масу тіла 24-добових курчат на чверть порівняно з контролем, тоді як кури, яких годували раціоном з 50 % дефіцитом сірковмісних амінокислот, зменшували масу тіла майже на третину. Автори також повідомили, що відносна вага тимуса та фабрицієвої сумки були значно знижені порівняно з контролем у раціоні з низьким вмістом ВСАА, що свідчить про критичну роль ВСАА у розвитку лімфоїдних органів та імунній відповіді у бройлерів.

Окрім використання в різних метаболічних шляхах, ВСАА регулюють експресію генів та передачу сигналів для синтезу протеїну [19]. Відомо, що сукупна кількість усіх трьох ВСАА становить третину від загального м'язового протеїну, і вони відіграють життєво важливу роль у запобіганні протеолізу під час теплового стресу у курей [20] та сприянні формуванню та розвитку м'язів. Busquets S. та ін. [21] дійшли висновку, що ВСАА пригнічують лізосомальний протеоліз м'язів у короткостроковій перспективі та, найімовірніше, зменшують АТФ-залежний протеоліз скелетних м'язів у довгостроковій перспективі у щурів.

Окрім впливу самих ВСАА на обмін м'язового протеїну, їх зниження також призводить до посилення β -окислення жирних кислот через шлях AMPK-mTOR-FoxO1 [19]. Серед усіх ВСАА лейцин є більш потужним у стимуляції синтезу протеїну через шлях mTOR та відіграє найвідчутнішу роль в імунній функції. Окрім сприяння імунній функції ВСАА можуть зменшувати оксидативний стрес, видаляючи активні форми кисню [22].

Використання поживних речовин корму, загальні показники росту та імунний статус птиці також залежать від популяції бактерій та інших мікроорганізмів, що мешкають у їх кишківнику, їх зазвичай називають кишковою мікробіотою або кишковим мікріомом [23]. Тому оцінка впливу ВСАА на різноманітність кишкової мікробіоти кишківника птиці також є критично важливою та першочерговою у рекомендаціях щодо співвідношення ВСАА у раціоні. Однак аналіз кишкової мікробіоти все ще є галуззю досліджень у птахівництві, що розвивається і інформація про роль ВСАА у різноманітності кишкової мікробіоти у птиці обмежена. Відомо, що мікробіота взаємодіє як з організмом птиці, так і з раціоном, і змінюється залежно від виду, віку, місця розташування, інгредієнтів корму тощо [24]. Однак, можна очікувати певної подібності у взаємодії мікробіоти та раціону у свійської птиці, свиней та мишей, оскільки у цих видів переважає кишкове травлення і більша частина мікробної популяції від виду-донора може бути спадково колонізована та відтворена у гнотобіотичних тварин [25].

Окрім трьох лімітуючих амінокислот (метіоніну, лізину та треоніну) у кукурудзяному та соєвому шроті для птиці [26], ВСАА також можуть стати лімітуючими і серед дослідників точаться дискусії щодо того, яку саме амінокислоту слід вважати четвертою та наступною незамінною амінокислотою в раціонах птиці. Результати попередніх досліджень є суперечливими і значна кількість

експериментальних даних показують такими валін або ізолейцин [27]. Деякі дослідники вважають, що вони повинні бути спільно лімітуючими на основі концентрації корисних амінокислот у раціоні та складу інгредієнтів корму [28]. Крім того, різні дослідники представляють потреби в незамінних амінокислотах та їх вміст у кормі або на загальній основі, або на основі перетравлюваного корму, або іноді у співвідношенні до лізину. Оскільки засвоюваність амінокислот змінюється залежно від складу раціону, доступність амінокислот та їх співвідношення до лізину були б більш реалістичними для порівняння співвідношення амінокислот, але така інформація обмежена в доступних літературних джерелах.

Для кращого росту та несучості курей необхідний належний розвиток та функціонування їх органів травної системи, пов'язаних з імунними клітинами, цілісністю кишківника та збалансованою кишковою мікробіотою. Незважаючи на визнання значної ролі ВСАА у модуляції імунітету та здоров'я кишківника, в існуючій літературі не описано жодного конкретного механізму їх взаємодії. Крім того, дослідження щодо застосування ВСАА для впливу на імунітет, мікробіоту та загальний стан кишківника у птиці були незначними. Передбачається, що вплив додавання до раціону ВСАА сприятиме покращенню у птиці стану кишківника, як це описано для свиней або мишей [29], однак для підтвердження цього необхідні подальші дослідження.

Відомо, що додаткове введення лейцину (1,37–2,20 % раціону) в раціон курей значно збільшує висоту ворсинок порожньої та клубової кишок, а також співвідношення ворсинок до крипти у дванадцятипалій, порожній та клубовій кишках, що підтверджує роль лейцину в розвитку кишківника. Додавання валіну до раціонів з низьким вмістом цервікальних клітин, до досягнення до 90 % доступної амінокислоти в раціоні, сприяє збільшенню висоти ворсинок порожньої та клубової кишок на 29 та 17 % відповідно, а також кількості келихоподібних клітин у порожній та клубовій кишках на 12 та 9 % відповідно [30]. Під час процесу трансамінування ВСАА також можуть постачати аміногрупи для синтезу інших амінокислот, особливо глутамату та аспартату, які є основними джерелами енергії для слизової оболонки тонкого кишківника, внутрішньоклітинного обміну протеїну та транспорту поживних речовин.

Інформація про вплив ВСАА на кишкову мікробіоту курей дуже обмежена. Зокрема, van der Wielen P.W.J.J. з колегами [31] провели дослідження *in vitro* з використанням лактат-ферментуючої бактерії (штам G17T), виділеної з сліпої кишки 31-добових курчат-бройлерів, і ця бактерія, подібна до *Clostridium propionicum* (93 < 5 %) та *Clostridium neopropionicum* (93 < 5 %), показала повільний та помірний ріст з L-валіном, L-лейцином та L-ізолейцином у субстраті. Дещо пізніше, Arajalahti J. та Vienola K. [32] повідомили, що *Lactobacillus spp.* та *C. perfringens* потребують лейцину та ізолейцину для свого росту, тоді як *Escherichia coli* не залежить від цих амінокислот і тому мінливість у постачанні таких амінокислот може сприяти певним групам бактерій у їх конкурентоспроможності проти інших у шлунково-кишковому тракті птиці. У свою чергу, Jian H. та ін. [33] вивчали вплив згодовування додаткового валіну курям-несучкам, де базовий контрольний раціон містив 0,59 % загального валіну, а раціон з додаванням – 0,79 %. Автори виявили, що додатковий валін не впливав на альфа- та бета-різноманітність мікробіоти сліпої кишки, але він зменшив відносну чисельність *Fusobacterium*, *Aeriscardovia*, *Anaerobiospirillum*, *Aerococcus*, *Corynebacterium* та *Campylobacter*, а також збільшив відносну чисельність *Oribacterium* та *Frisingicoccus*. Такі результати свідчать про те, що додавання ВСАА може мати загалом сприятливий вплив на мікробіоту

кишківника курей та, в свою чергу, сприяти підвищенню її продуктивності. З точки зору модуляції мікробіоти у птиці, регулювання рівня ВСАА в раціоні потребує більшої уваги з огляду на прогалину, що виникла через обмеження на використання антибіотиків-стимуляторів росту.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Окрім забезпечення азотними субстратами та вуглецевим каркасом для енергетичного гомеостазу та трансамінування, ВСАА також функціонують як сигнальні молекули в регуляції синтезу глюкози, ліпідів та білка через протеїнкіназу B, а також як механістична мішень сигнального шляху рапаміцину (АКТ-mTOR), який важливий для нарощування м'язів. Рівень лейцину зазвичай високий у зернових, і дисбаланс у співвідношенні між трьома ВСАА у низькопротеїновому раціоні негативно впливає на ріст птиці. Це відбувається через структурну подібність трьох ВСАА, що призводить до метаболічної конкуренції та втручання у шлях ферментативного розщеплення. Нові дані свідчать про те, що включення ВСАА є важливим для належного функціонування вродженої та адаптивної імунної системи та підтримки цілісності слизової оболонки кишківника. Рекомендовані рівні ВСАА для птиці визначені NRC (1994), але розробники кросів курчат-бройлерів та курей-несучок також визначають власні рекомендовані рівні. У цьому огляді було зазначено, що на потребу в ВСАА впливають тип раціону, порода та вік птиці. Крім того, кілька досліджень зосереджувалися на впливі ВСАА у низькопротеїнових раціонах, як стратегії зменшення виділення азоту. Примітно, що існує обмежена кількість досліджень щодо співвідношення включення ВСАА у додатковій формі порівняно з формою, пов'язаною з інгредієнтами, що може впливати на динаміку їх використання при різних захворюваннях, особливо тих, що впливають на коефіцієнт конверсії корму. Спостереження та інтерпретації цього огляду можуть бути основою для майбутніх досліджень щодо коригування рекомендованих рівнів ВСАА у програмах годівлі за відсутності субтерапевтичних антибіотиків у птиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Beski S.S.M., Swick R.A., Iji P.A. Specialized protein products in broiler chicken nutrition: A review. *Animal Nutrition*. 2015. Vol. 1(2). P. 47–53. DOI:10.1016/j.aninu.2015.05.005
2. NRC. Nutrient Requirements of Poultry. National Academy of Sciences – NRC, Washington, DC, 1994.
3. Waldroup P.W., Kersey J.H., Fritts C.A. Influence of branched-chain amino acid balance in broiler diets. *International Journal of Poultry Science*. 2002. Vol. 1(5). P. 136–144. DOI:10.3923/ijps.2002.136.144
4. Naeem M., Burton E.J., Scholey D.V., Alkhtib A., Broadberry S. Use of wheat dilution to improve digestive function in broilers: application in low protein diets. *British Poultry Science*. 2024. Vol. 65(2). P. 144–153. DOI:10.1080/00071668.2023.2291487
5. Hou Y., Yin Y., Wu G. Dietary essentiality of “nutritionally non-essential amino acids” for animals and humans. *Experimental Biology and Medicine*. 2015. Vol. 240. P. 997–1007. DOI:10.1177/1535370215587913
6. Adeva-Andany M.M., López-Maside L., Donapetry-García C., Fernández-Fernández C., Sixto-Leal C. Enzymes involved in branched-chain amino acid metabolism in humans. *Amino Acids*. 2017. Vol. 49(6). P. 1005–1028. DOI:10.1007/s00726-017-2412-7
7. Abbas R. Valine in Broiler Diets: A review. *International Journal for Scientific Research*. 2024. Vol. 3. P. 11–40. DOI:10.59992/IJSR.2024.v3n4p1

8. Brosnan J.T., Brosnan M.E. Branched-chain amino acids: enzyme and substrate regulation. *Journal of Nutrition*. 2006. Vol. 136. P. 207S–211S. DOI:10.1093/jn/136.1.207S
9. Allen N.K., Baker D.H. Quantitative efficacy of dietary isoleucine and valine for chick growth as influenced by variable quantities of excess dietary leucine. *Poultry Science*. 1972. Vol. 51. P. 1292–1298. DOI:10.3382/ps.0511292
10. Ospina-Rojas I.C., Pozza P.C., Rodrigueiro R.J.B., Gasparino E., Khatlab A.S., Murakami A.E. High leucine levels affecting valine and isoleucine recommendations in low-protein diets for broiler chickens. *Poultry Science*. 2020. Vol. 99. P. 5946–5959. DOI:10.1016/j.psj.2020.08.053
11. Macelline S.P., Toghyani M., Chrystal P.V., Selle P.H., Liu S.Y. Amino acid requirements for laying hens: a comprehensive review. *Poultry Science*. 2021. Vol. 100. P. 101036. DOI:10.1016/j.psj.2021.101036
12. Machlin L.J. An estimate of the leucine requirement of the laying hen. *Poultry Science*. 1955. Vol. 34. P. 984–985. DOI:10.3382/ps.0340984
13. Parenteau I.A., Stevenson M., Kiarie E.G. Egg production and quality responses to increasing isoleucine supplementation in Shaver white hens fed a low crude protein corn-soybean meal diet fortified with synthetic amino acids between 20 and 46 weeks of age. *Poultry Science*. 2020. Vol. 99. P. 1444–1453. DOI:10.1016/j.psj.2019.10.064
14. Peganova S., Eder K. Interactions of various supplies of isoleucine, valine, leucine and tryptophan on the performance of laying hens. *Poultry Science*. 2003. Vol. 82. P. 100–105. DOI:10.1093/ps/82.1.100
15. Dong X.Y., Azzam M.M.M., Zou X.T. Effects of dietary L-isoleucine on laying performance and immunomodulation of laying hens. *Poultry Science*. 2016. Vol. 95. P. 2297–2305. DOI:10.3382/ps/pew163
16. Sakomura N.K., Ekmay R.D., Mei S.J., Coon C.N. Lysine, methionine, phenylalanine, arginine, valine, isoleucine, leucine, and threonine maintenance requirements of broiler breeders. *Poultry Science*. 2015. Vol. 94. P. 2715–2721. DOI:10.3382/ps/pev287
17. Jian H., Miao S., Liu Y., Li H., Zhou W., Wang X., Dong X., Zou X. Effects of dietary valine levels on production performance, egg quality, antioxidant capacity, immunity, and intestinal amino acid absorption of laying hens during the peak lay period. *Animals*. 2021. Vol. 11. P. 1972. DOI:10.3390/ani11071972
18. Konashi S., Takahashi K., Akiba Y. Effects of dietary essential amino acid deficiencies on immunological variables in broiler chickens. *British Journal of Nutrition*. 2000. Vol. 83. P. 449–456. DOI:10.1017/S0007114500000556
19. Bai J., Greene E., Li W., Kidd M.T., Dridi S. Branched-chain amino acids modulate the expression of hepatic fatty acid metabolism-related genes in female broiler chickens. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2015. Vol. 59. P. 1171–1181. DOI:10.1002/mnfr.201400918
20. Kop-Bozbay C., Ocak N. Growth, digestive tract and muscle weights in slow-growing broiler is not affected by a blend of branched-chain amino acids injected into different sites of egg. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*. 2015. Vol. 4. P. 261–269. DOI:10.15640/jaes.v4n1a32
21. Busquets S., Alvarez B., Llovera M., Agell N., López-Soriano F.J., Argilés J.M. Branched-chain amino acids inhibit proteolysis in rat skeletal muscle: mechanisms involved. *Journal of Cellular Physiology*. 2000. Vol. 184. P. 380–384. DOI:10.1002/1097-4652(200009)184:3<380::AID-JCP13>3.0.CO;2-F
22. Mattick J.S.A., Kamisoglu K., Ierapetritou M.G., Androulakis I.P., Berthiaume F. Branched-chain amino acid supplementation: impact on signaling and relevance to critical illness. *Wiley interdisciplinary reviews. Systems biology and medicine*. 2013. Vol. 5. P. 449–460. DOI:10.1002/wsbm.1219

23. Singh A.K., Kim W.K. Effects of dietary fiber on nutrients utilization and gut health of poultry: a review of challenges and opportunities. *Animals*. 2021. Vol.11. P. 181. DOI:10.3390/ani11010181
 24. Pan D., Yu Z. Intestinal microbiome of poultry and its interaction with host and diet. *Gut Microbes*. 2014. Vol. 5. P. 108–119. DOI:10.4161/gmic.26945
 25. Kiarie E., Romero L.F., Nyachoti C.M. The role of added feed enzymes in promoting gut health in swine and poultry. *Nutrition Research Reviews*. 2013. Vol. 26. P. 71–88. DOI:10.1017/S0954422413000048
 26. Singh A.K., Tiwari U.P., Berrocso J.D., Dersjant-Li Y., Awati A., Jha R. Effects of a combination of xylanase, amylase and protease, and probiotics on major nutrients including amino acids and non-starch polysaccharides utilization in broilers fed different level of fibers. *Poultry Science*. 2019. Vol. 98. P. 5571–5581. DOI:10.3382/ps/pez310
 27. Corzo A., Dozier W.A., Loar R.E., Kidd M.T., Tillman P.B. Dietary limitation of isoleucine and valine in diets based on maize, soybean meal, and meat and bone meal for broiler chickens. *British Poultry Science*. 2010. Vol. 51. P. 558–563. DOI:10.1080/00071668.2010.507242
 28. Maynard C.W., Liu S.Y., Lee J.T., Caldas J., Diehl E.J., Rochell S.J., Kidd M.T. Determining the fourth limiting amino acid in low crude protein diets for male and female Cobb 500 broilers. *British Poultry Science*. 2020. Vol. 61. P. 695–702. DOI:10.1080/00071668.2020.1782348
 29. Zhang C., Jiao S., Wang Z.A., Du Y. Exploring effects of chitosan oligosaccharides on mice gut microbiota in in vitro fermentation and animal model. *Frontiers in Microbiology*. 2018. Vol. 9. P. 2388. DOI:10.3389/fmicb.2018.02388
 30. Allameh S., Toghyani M. Effect of dietary valine supplementation to low protein diets on performance, intestinal morphology and immune responses in broiler chickens. *Livestock Science*. 2019. Vol. 229. P. 137–144. DOI:10.1016/j.livsci.2019.09.025
 31. van der Wielen P.W.J.J., Rovers G.M.L.L., Scheepens J.M.A., Biesterveld S. *Clostridium lactatifermentans* sp. nov., a lactate-fermenting anaerobe isolated from the caeca of a chicken. *The International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2002. Vol. 52. P. 921–925. DOI:10.1128/AEM.68.2.555-559.2002
 32. Apajalahti J., Vienola K. Interaction between chicken intestinal microbiota and protein digestion. *Animal Feed Science and Technology*. 2016. Vol. 221. P. 323–330. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2016.05.004
 33. Jian H., Miao S., Liu Y., Wang X., Xu Q., Zhou W., Li H., Dong X., Zou X. Dietary valine ameliorated gut health and accelerated the development of nonalcoholic fatty liver disease of laying hens. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2021 b. Vol. 2021. P. 4704771. DOI:10.1155/2021/4704771
-