

УДК 636.4:636.086

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.2.33>

ВПЛИВ АМІНОКИСЛОТ З РОЗГАЛУЖЕНИМ АЛІФАТИЧНИМ БІЧНИМ ЛАНЦЮГОМ (ВСАА) НА ІНТЕНСИВНІСТЬ РОСТУ МОЛОДНЯКУ СВИНЕЙ

Шило В.С. – аспірант кафедри годівлі та технології кормів імені П.Д. Пшеничного, Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0009-0008-2003-1281

Отченашко В.В. – д.с.-г.н., професор, професор кафедри годівлі та технології кормів імені П.Д. Пшеничного, Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0003-0336-9340

Використання синтетичних амінокислот в годівлі свиней дозволяє зменшити витрати на годівлю та виведення азоту, зберігаючи за цього високу інтенсивність росту. Такі амінокислоти, як L-лізин, L-треонін, DL-метіонін, L-триптофан і L-валін, сьогодні широко використовуються у свинарстві. Однак, питання щодо їх нормування та оптимального співвідношення все ще залишається дискусійним. Після валіну, ізолейцин є наступною обмежуючою амінокислотою у раціонах свиней на основі кукурудзяно-соевого борошна. Однак, хоч валін і ізолейцин обмежують використання раціонів з кукурудзяно-соевим борошном з низьким вмістом сирого протеїну, лейцин зазвичай є в надлишку через його високу концентрацію в кукурудзі та її побічних продуктах. ВСАА структурно подібні та мають спільні початкові етапи катаболізму, тому надлишок однієї з цих амінокислот, особливо лейцину, може призвести до посилення деградації всіх трьох амінокислот. Для визначення оптимального рівня введення синтетичного ізолейцину у раціон молодняку свиней необхідно чітко розуміти метаболізм ВСАА, їх взаємодію між собою та вплив на інтенсивність росту свиней. Тому метою даного огляду був аналіз впливу ВСАА на інтенсивність росту молодняку свиней. Літературні дані демонструють переконливі докази виникнення негативних наслідків згодовування молодняку свиней високих рівнів лейцину, якщо рівень ізолейцину та/або валіну у раціоні є граничним або нижчим розрахункових потреб. Однак такий вплив на організм свиней за умови використання раціонів з достатнім або високим рівнем ізолейцину і валіну є менш відчутним. Крім того, також немає чіткого визначення того, де саме знаходиться точка розриву, тобто, за якого SID співвідношення лейцину до лізину порушується. Подібним чином, інші співвідношення між ВСАА не повністю вивчені. Крім того, описані у літературі дані засвідчили складність метаболізму амінокислот у молодняку свиней і важливість урахування потенційних взаємодій між амінокислотами під час проведення досліджень з визначення їх рекомендованих рівнів.

Ключові слова: ВСАА, валін, лізин, лейцин, ізолейцин, свині, інтенсивність росту, метаболізм.

Shylo V.S., Otchenashko V.V. The effect of branched-chain amino acids (BCAAs) on growth rate of young pigs

The use of synthetic amino acids in pig feeding allows to reduce feed costs and nitrogen excretion, while maintaining high growth rates. Amino acids such as L-lysine, L-threonine, DL-methionine, L-tryptophan and L-valine are widely used in pig production today. However, the question of their rationing and optimal ratio is still debatable. After valine, isoleucine is the next limiting amino acid in pig diets based on corn-soybean meal. However, although valine and isoleucine limit the use of corn-soybean meal diets with a low crude protein content, leucine is usually in excess due to its high concentration in corn and its by-products. BCAAs are structurally similar and have common initial stages of catabolism, therefore, an excess of one of these amino acids, especially leucine, can lead to increased degradation of all three amino acids. To determine the optimal level of synthetic isoleucine in the diet of young pigs, it is necessary to clearly understand the metabolism of BCAAs, their interaction with each other and the effect

on the growth rate of pigs. Therefore, the aim of this review was to analyze the effect of BCAAs on the growth rate of young pigs. Literature data demonstrate convincing evidence of negative consequences of feeding young pigs' high levels of leucine if the level of isoleucine and/or valine in the diet is marginal or below the calculated requirements. However, such effects on the body of pigs are less noticeable when using diets with sufficient or high levels of isoleucine and valine. In addition, there is also no clear definition of where exactly the breakpoint is, i.e. at what SID the leucine to lysine ratio is disturbed. Similarly, other ratios between BCAAs have not been fully studied. In addition, the data described in the literature have demonstrated the complexity of amino acid metabolism in young pigs and the importance of considering potential interactions between amino acids when conducting studies to determine their recommended levels.

Key words: BCAA, valine, lysine, leucine, isoleucine, pigs, growth rate, metabolism.

Актуальність теми дослідження. Складання раціонів з низьким вмістом сирого протеїну за підтримки достатнього запасу амінокислот шляхом додавання синтетичних амінокислот є загальноприйнятою практикою в годівлі свиней [1]. Використання синтетичних амінокислот зменшує витрати на годівлю та виведення азоту, зберігаючи за цього високу інтенсивність росту свиней [2]. Сьогодні L-лізин, L-треонін, DL-метіонін, L-триптофан і L-валін широко використовуються у свиноводстві. Після валіну, ізолейцин, ймовірно, є наступною обмежуючою амінокислотою у раціонах свиней на основі кукурудзяно-соевого борошна. Однак, хоч валін і ізолейцин обмежують використання раціонів з кукурудзяно-соевим борошном з низьким вмістом сирого протеїну, лейцин зазвичай є в надлишку через його високу концентрацію в кукурудзі та її побічних продуктах [3, 4]. ВСАА, такі як лейцин, ізолейцин і валін структурно подібні та мають спільні початкові етапи катаболізму. Таким чином, надлишок однієї з цих амінокислот, особливо лейцину, може призвести до посилення деградації всіх трьох амінокислот.

Постановка проблеми. Для визначення оптимального рівня введення синтетичного ізолейцину у раціон молодняку свиней необхідно чітко розуміти метаболізм ВСАА, їх взаємодію між собою та вплив на інтенсивність росту свиней. Тому метою даного огляду був аналіз впливу ВСАА на інтенсивність росту молодняку свиней.

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

Результати досліджень. У літературі надана досить обширна інформація щодо оцінки потреби молодняку свиней у окремих амінокислотах [5, 6]. Проте було проведено обмежену роботу з оцінки взаємодії між ВСАА в організмі поросят, що може мати важливі наслідки для інтерпретації результатів випробувань, які окремо оцінюють потребу в них. Крім того, рівнями ВСАА часто маніпулюють шляхом зміни профілів інгредієнтів раціонів, що змінює реакцію на ВСАА з іншими амінокислотами та поживними речовинами, такими як клітковина, і може сприяти варіабельності спостережуваних реакцій [7].

Щодо дослідження впливу на продуктивність молодняку свиней різних рівнів та співвідношень ВСАА Керн В.Д. з колегами [8] провели вивчення використання для поросят з початковою масою тіла 7 кг раціонів зі зростаючими рівнями висушених розпиленням клітин крові, які є інгредієнтом з дуже високою концентрацією лейцину і валіну та низькою концентрацією ізолейцину. Раціони містили 2,5 або 5,0 % клітин крові і доповнювалися L-ізолейцином або без нього. Свині, яких годували раціонами з 2,5 % клітин крові збагаченими або ні L-ізолейцином, мали подібні середньодобовий приріст, середньодобове споживання корму і співвідношення приросту маси тіла до корму. Однак свині, яких годували раціонами з 5 % клітин крові без L-ізолейцину, характеризувалися нижчими

зазначеними параметрами продуктивності. Включення L-ізолейцину до раціону з 5 % клітин крові призвело до ефективності, подібної до раціону 2,5 % клітин крові. Ці результати свідчать про те, що раціони з помірними рівнями лейцину можна згодовувати молодняку свиней без негативного впливу на інтенсивність росту за умови, що рівень ізолейцину введений понаднормово. Раціони з 136 % SID лейцин:лізин (2,5 % клітин крові) не впливали на продуктивність, а раціони з 150 % SID лейцин:лізин (5 % клітин крові) знижували інтенсивність росту свиней. Важливо зауважити, що 136 % SID лейцин:лізин раціони мали ізолейцин:лейцин на рівні або вище нормативного (52 % або 66 %), тоді як у раціоні з 150 % лейцин:лізин без додавання L-ізолейцину його рівень був нижче нормативного (46 % ізолейцин:лейцин).

У підсумку досліджень потреби свиней в ізолейцині, Htoo J. [9] зауважив, що в експериментах, де раціони для свиней містили високий вміст клітин крові і, як наслідок, високий SID лейцин:лізин, тобто більше 150 %, оцінені потреби SID ізолейцин:лізин були значно вищими, ніж у дослідженнях, де SID лейцин:лізин проводився на більш помірних рівнях (раціони, що не містять продуктів крові), незалежно від маси тіла свиней та їх генетичних особливостей. Дані 12 досліджень були об'єднані для створення рівняння регресії для оцінки потреби SID ізолейцин:лізин на основі SID лейцин:лізин. Рівняння припускає, що зі збільшенням рівня лейцину потреба в ізолейцині зростає пропорційно. Наприклад, у раціоні зі 110 % SID лейцин:лізин потреба в SID ізолейцин:лізин становитиме близько 54 %, а якщо SID лейцин:лізин становить 200 %, потреба в SID ізолейцину зростає до 61 % від лізину. Однак слід визнати, що рівняння регресії було побудовано з даними для різних класів свиней, від 6 до 113 кг маси тіла, і немає достатніх доказів на підтримку порівняння реакції різних класів свиней на BCAA. Однак, не дивлячись на те, що рівняння регресії може бути корисним з практичної точки зору, статистичні процедури, використані для його отримання, не були описані.

За даними Gloaguen M. з колегами [10], які досліджували раціони для молодняку свиней з початковою масою тіла 11,3 кг зі збільшенням SID лейцин:лізин від 80 до 130 % і співвідношенням ізолейцин:лізин 52 %, 80 % SID лейцин:лізин знижує середньодобове споживання корму та середньодобові прирости маси тіла. Однак авторами не було виявлено жодних доказів відмінностей між застосуванням 90 і 130 % SID лейцин:лізин. Це вказує на те, що зниження рівня лейцину в раціоні на 10 % порівняно нормативом NRC [3] не впливає на інтенсивність росту молодняку свиней. Крім того, 130 % SID лейцин:лізин було недостатньо для зменшення споживання корму. Також слід зауважити, що SID ізолейцин:лізин у цьому дослідженні не перевищував і був дуже близьким до розрахункової потреби для молодняку свиней. В іншому дослідженні Gloaguen M. і ін. [11] вивчали потреби SID валін:лізин у молодняку свиней з початковою масою тіла 12,1 кг за умови надлишку лейцину (169 % SID лейцин:лізин). Встановлена авторами розрахункова потреба свиней в SID валін:лізин становила 72 %, вище вимог NRC [3]. Однак дані результати були підтверджені спостереженням, проведеному в тій самій лабораторії з використанням раціонів зі 118 % SID лейцин:лізин, а також іншими дослідженнями рівнів SID валін:лізин із помірними рівнями SID лейцин:лізин [12]. Таким чином, 169 % SID лейцин:лізин було недостатньо, щоб спричинити збільшення потреби у валіні для молодняку свиней.

Wiltasfky M.K. і ін. [13] також провели два експерименти із використання для молодняку свиней раціонів з високим співвідношенням SID лейцин:лізин в діапазоні від 102 до 204 % або від 99 до 198 %. В обох дослідях раціони були

граничними для ізолейцину (44 % SID ізолейцин:лейцин) або валіну (55 % SID валін:лізін), відповідно. В обох експериментах спостерігалось лінійне зниження середньодобового споживання корму та середньодобових приростів маси тіла у відповідь на збільшення SID лейцин:лізін. На відміну від висновків зазначених Gloaguen M. з колегами [10, 11], автори спостерігали значне зниження споживання корму навіть із проміжним SID лейцин:лізін, тобто приблизно на 150 %. Можна припустити, що Wiltasfky M.K. і ін. [13] спостерігали зниження споживання корму за нижчого рівня SID лейцин:лізін, оскільки раціони містили обмежені рівні ізолейцину або валіну, що посилювало вплив надлишку лейцину.

Duan Y.H. з колегами [14] досліджували вплив співвідношень BCAА в раціоні на інтенсивність росту молодняку свиней, а саме порівнювали раціони з 20 % сирого протеїну і співвідношенням лейцин:ізолейцин:валін – 1,0:0,51:0,63 і раціони з 17 % сирого протеїну із співвідношеннями 1,0:1,0:1,0, або 1,0:0,75:0,75, або 1,0:0,51:0,63, або 1:0,25:0,25. Автори виявили, що зниження рівня сирого протеїну з 20 % до 17 % за збереження співвідношення лейцин:ізолейцин:валін 1,0:0,51:0,63 не вплинуло на інтенсивність росту молодняку свиней. Свині, яких годували раціоном із співвідношенням BCAА 1,0:0,25:0,25, характеризувалися найнижчою інтенсивністю росту. Однак важливо зауважити, що співвідношення 1,0:0,25:0,25 характеризувалось 200 % SID лейцин:лізін, але лише 50 % SID ізолейцин:лізін і 50 % SID валін:лізін, що набагато нижче нормативів NRC [3]. Навпаки, всі інші раціони також мали помірно високий SID лейцин:лізін, але рівні ізолейцину та валіну значно перевищували розрахункову потребу. Це підтверджує той факт, що негативний вплив високого вмісту лейцину у раціоні більш очевидний за умови дефіциту BCAА порівняно з нормативними рівнями NRC [3].

Даних щодо впливу BCAА на продуктивність молодняку свиней на фінішних етапах вирощування у літературі обмаль. Зокрема, Morales A. зі співавторами [15] досліджували вплив на організм підростаючих свиней з початковою масою тіла 31,8 кг раціону з 99 % SID лейцин:лізін, 58 % SID ізолейцин:лізін і 73 % SID валін:лізін, раціону з додаванням L-лейцину (137 % SID лейцин:лізін, 58 % SID ізолейцин:лізін і 73 % SID валін:лізін) або раціону з додаванням з L-лейцину, L-ізолейцину і L-валіну (133 % SID лейцин:лізін, 74 % SID ізолейцин:лізін і 95 % SID валін:лізін). Науковцями не було виявлено жодних відмінностей щодо інтенсивності росту молодняку свиней залежно від рівня та співвідношення BCAА у їх раціоні, що вказує на те, що 137 % SID лейцин:лізін було недостатньо, щоб спровокувати зменшення споживання корму у свиней. Однак важливо визнати, що рівні як ізолейцину, так і валіну у раціонах перевищили нормативні рівні NRC [3].

Hyun Y. та ін. [16] вивчали вплив на фінішних етапах вирощування молодняку свиней з початковою масою тіла 78,4 кг застосування раціонів з кукурудзяно-соевим шротом (171 % SID лейцин:лізін) або кукурудзяно-соевим шротом з додаванням 2,1 % L-лейцину (424 % SID лейцин:лізін). Інші співвідношення були 66 % SID ізолейцин:лейцин, 20 % SID триптофан:лізін, 66 % SID метіонін і цистин:лізін і 62 % SID треонін:лізін. Свині, яких годували раціонами з додаванням L-лейцину, характеризувалися значно нижчим середньодобовим приростом маси тіла, але не було виявлено відмінностей у середньодобовому споживанні корму. Важливо відзначити, що рівні лейцину у раціоні з додаванням L-лейцину були надзвичайно високими і не відповідали нормативним рівням NRC [3]. У завершальному дослідженні Hyun Y. з колегами [17] вивчали вплив на продуктивність свиней на заключній стадії їх вирощування використання раціонів у структурі факторної обробки 2×3 з двома рівнями SID лізину (0,5 або 0,7 %) і трьома рівнями SID

лейцину (1, 2 або 3 %). Дослідні раціони базувалися на кукурудзяно-соевому шроті з включенням кормових L-лізину і L-лейцину у співвідношеннях лейцин:лізин 218, 365 і 501 % з 0,5 % лізину і 166, 244 і 330 % з 0,7 % лізину. Інші рівні амінокислот були вищими за розрахункову потребу. Авторами виявлено, що рівні лізину та лейцину не вплинули на інтенсивність росту свиней. Навіть найвищий SID лейцин:лізин, а саме 501 % не вплинув на середньодобове споживання корму. У нещодавніх висновках Yang J. з колегами [18] рекомендують рівень потреби SID лізину для свиней живою масою 15–30 кг – 0,760 % (8,60 г/день), 30–50 кг – 0,628 % (11,85 г/день), 50–90 кг – 0,553 % (16,21 г/день), що сприяє підвищенню швидкості росту, засвоюваності поживних речовин і виходу нежирного м'яса.

За даними Rojo A. [19], який вивчав використання в годівлі свиней з початковою масою тіла 42,4 кукурудзяно-соевого шроту з додаванням L-лейцину, L-лейцину та L-ізолейцину та відразу всіх BCAA – L-лейцину, L-ізолейцину та L-валіну, співвідношення SID лейцин:лізин, SID ізолейцин:лізин і SID валін:лізин становили 128, 61 і 68 % у контролі; 192, 61 і 68 % з додаванням L-лейцину; 192, 62 і 68 % з додаванням L-лейцину та L-ізолейцину, і 192, 62 та 74 % з додаванням L-лейцину, L-ізолейцину і L-валіну. Співвідношення триптофан:лізин становило 18 % для всіх раціонів. Автор зазначає виявлене зниження середньодобових приростів маси тіла у свиней за використання всіх дослідних раціонів. Однак не було встановлено відмінностей у споживанні свинями корму залежно від додавання BCAA до раціону, що узгоджується з результатами Hyun Y. з колегами [17].

У літературі представлено ряд досліджень щодо оцінки впливу збільшення вмісту розчинних речовин у висушених дистиляторних зернах для молодняку свиней на дорощуванні. Хоча дані раціони не були розроблені для експериментального вивчення впливу BCAA на продуктивність молодняку свиней, отримані дані можуть бути використані для оцінки ефекту збільшення SID лейцин:лізин через амінокислотний профіль сушених дистиляторних зерен. Їх збільшення у раціоні також призводить до високого вмісту валіну та ізолейцину, але не до такої міри, як лейцину. Так, Whitney M.H. та ін. [20] досліджували використання для годівлі дорослих свиней з початковою масою тіла 28,4 кг раціонів з додаванням 0, 10, 20 або 30 % висушених дистиляторних зерен. Співвідношення SID лейцин:лізин не було вказано, але його можна оцінити в діапазоні від ~150 % до > 250 %, залежно від фази годівлі. Загалом не було виявлено відмінностей у середньодобовому споживанні свинями корму, хоча включення зерна лінійно зменшувало середньодобові прирости маси тіла та співвідношення приростів маси тіла до спожитого корму. Це свідчить про те, що високий SID лейцин:лізин у цих раціонах не впливав на споживання корму. Спостережуване зниження середньодобових приростів маси тіла та співвідношення приростів маси тіла до спожитого корму могло бути спричинене переоцінкою вмісту амінокислот і засвоюваності або недооцінкою рівня енергії джерела висушених дистиляторних зерен. У дослідженні Graham A.B. і ін. [21], для годівлі свиней з початковою масою тіла 46,1 кг використовували раціони з додаванням 0, 20 або 40 % висушених дистиляторних зерен. Включення L-лізину HCl було збільшено у раціонах зі збільшенням рівня введення зерна. SID лейцин:лізин коливався від ~150 % до 250 %, залежно від фази годівлі. Подібно як і у вищеописаних дослідженнях Whitney M.H. та ін. [20], введення високих рівнів висушених дистиляторних зерен не мало жодного негативного впливу на середньодобове споживання свинями корму. Виявляється, що високі рівні висушеного дистиляторного зерна можна використовувати без негативного впливу на параметри продуктивності свиней [22]. Незрозуміло, чому високі рівні лейцину не так

сильно впливають на споживання корму в кінці вирощування свиней порівняно зі стартерними та гроверними фазами. Можна припустити, що в доступних дослідженнях валін та ізолейцин також знаходяться на достатньо високому рівні, щоб зменшити негативний вплив загостреного катаболізму, викликаного надмірним рівнем лейцину. Однак важливо відзначити, що економічно ефективні практичні раціони наразі складаються з високим вмістом синтетичних амінокислот для заміни неушкоджених джерел білка, а також альтернативних інгредієнтів, таких як, наприклад, висушене дистиляторне зерно. Використовуючи цю стратегію, раціони можуть бути сформульовані з рівнями валіну та ізолейцину, близькими до розрахункової потреби, тоді як рівень лейцину може коливатися до значень, що значно перевищують розрахункову потребу, і потенційно можуть вплинути на інтенсивність росту молодняку свиней.

У нещодавніх дослідженнях Humphrey D.C. з колегами [7] вивчали вплив на організм свиней різних рівнів BCAA, виражених як співвідношення до SID лізину, що коливалися від 98 до 180 %, від 46 до 64 % і від 51 до 78 % для лейцину, ізолейцину і валіну відповідно. Автори виявили, що валін лінійно впливає на середньодобовий приріст живої маси поросят та співвідношення приросту до корму, незалежно від рівнів лейцину та ізолейцину у раціоні, тоді як дані господарськи корисні ознаки були знижені за використання високих рівнів лейцину та ізолейцину. Крім того, на середньодобове споживання корму негативно вплинуло збільшення рівня лейцину за умови, що рівень валіну був нижчим від рекомендованого NRC [3]. Водночас, середньодобове споживання корму не змінилося за збільшення рівня лейцину з додаванням вищих рівнів валіну. Дані результати засвідчили складність метаболізму амінокислот у молодняку свиней і важливість урахування потенційних взаємодій між амінокислотами під час проведення досліджень з визначення їх рекомендованих рівнів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Існують переконливі докази виникнення негативних наслідків згодовування молодняку свиней високих рівнів лейцину, якщо рівень ізолейцину та/або валіну у раціоні є граничним або нижчим розрахункових потреб. Однак такий вплив на організм свиней за умови використання раціонів з достатнім або високим рівнем ізолейцину і валіну є менш очевидним. Крім того, також немає визначення того, де саме знаходиться точка розриву, тобто, за якого SID співвідношення лейцин:лізин порушується. Подібним чином, інші співвідношення між BCAA не повністю вивчені.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Eugenio F.A., van Milgen J., Duperray J., Sergheraert R., Le Floch N. Feeding intact proteins, peptides, or free amino acids to monogastric farm animals. *Amino Acids*. 2022. Vol. 54. P. 157–168. doi:10.1007/s00726-021-03118-0
2. Cemin H.S., Tokach M.D., Woodworth J.C., Dritz S.S., DeRouchey J.M., Goodband R.D. Branched-chain amino acid interactions in growing pig diets. *Translational Animal Science*. 2019. Vol. 3(4). P. 1246–1253. doi:10.1093/tas/txz087
3. NRC. Nutrient requirements of swine. 11th rev. ed. Washington, DC: National Academic Press, 2012.
4. Park C., Adeola O. Digestibility of amino acids in fish meal and blood-derived protein sources fed to pigs. *Animal Bioscience*. 2022. Vol. 35(9). P. 1418–1425. doi:10.5713/ab.21.0437
5. Chae B., Poaty D., Itengou J.I.C., Lee A.-L., Tak J., Cheon I., Choi N.-J. An Estimation of the Requirements of the Standardized Ileal Digestible Tryptophan, Valine, Isoleucine and Methionine on Young Pigs' (Up to 50 kg) Feed Efficiency: A Meta-Regression Analysis. *Animals*. 2024. Vol. 14(19). P. 2884. doi:10.3390/ani14192884

6. Goodarzi P., Wileman C.M., Habibi M., Walsh K., Sutton J., Shili C.N., Chai J., Zhao J., Pezeshki A. Effect of Isoleucine and Added Valine on Performance, Nutrients Digestibility and Gut Microbiota Composition of Pigs Fed with Very Low Protein Diets. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23. P. 14886. doi:10.3390/ijms232314886
7. Humphrey D.C., Haydon K., Greiner L.L. Evaluation of branched-chain amino acid interactions in 10 to 20 kg nursery pigs using a central composite design, *Journal of Animal Science*. 2023. Vol. 101. P. skad253. doi:10.1093/jas/skad253
8. Kerr B.J., Kiddt M.T., Cuaron J.A., Bryant K.L., Parr T.M., Maxwell C.V., Weaver E. Utilization of spray-dried blood cells and crystalline isoleucine in nursery pig diets. *Journal of Animal Science*. 2004. Vol. 82. P. 2397–2404. doi:10.2527/2004.8282397x
9. Htoo J. Requirements and optimum dietary branched-chain amino acids to lysine ratios for pigs. *AMINOnews*. 2012. Vol. 16. P. 1–15. https://animal-nutrition.evonik.com/product/feed-additives/downloads/aminonews_2016_2_special_edition_valamino_en.pdf
10. Gloaguen M., Le Floc'h N., Primot Y., Corrent E., van Milgen J. Response of piglets to the standardized ileal digestible isoleucine, histidine and leucine supply in cereal–soybean meal-based diets. *Animal*. 2013. Vol. 7. P. 901–908. doi:10.1017/S1751731112002339
11. Gloaguen M., Le Floc'h N., Brossard L., Barea R., Primot Y., Corrent E., and van Milgen J. Response of piglets to the valine content in diet in combination with the supply of other branched-chain amino acids. *Animal*. 2011. Vol. 5. P. 1734–1742. doi:10.1017/S1751731111000760
12. Clark A.B., Tokach M.D., DeRouchey J.M., Dritz S.S., Goodband R.D., Woodworth J.C., Touchette K.J., Bello N.M. Modeling the effects of standardized ileal digestible valine to lysine ration on growth performance of nursery pigs. *Translational animal science*. 2017. Vol. 1. P. 448–457. doi:10.2527/tas2017.0049
13. Wiltasfky M.K., Pfaffl M.W., Roth F.X. The effects of branched-chain amino acid interactions on growth performance, blood metabolites, enzyme kinetics and transcriptomics in weaned pigs. *British Journal of Nutrition*. 2010. Vol. 103. P. 964–976. doi:10.1017/S0007114509992212
14. Duan Y.H., Zeng L.M., Li F.N., Li Y.H., Tan B.E., Ji Y.J., Kong X.F., Tang Y.L., Zhang Y.Z., Yin Y.L. Effects of dietary branched-chain amino acid ratio on growth performance and serum amino acid pool of growing pigs. *Journal of Animal Science*. 2016. Vol. 94. P. 129–134. doi:10.2527/jas.2015–9527
15. Morales A., Arce N., Cota M., Buenabad L., Avelar E., Htoo J.K., Cervantes M. Effect of dietary excess of branched-chain amino acids on performance and serum concentrations of amino acids in growing pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2016. Vol. 100. P. 39–45. doi:10.1111/jpn.12327
16. Hyun Y., Ellis M., McKeith F.K., Baker D.H. Effect of dietary leucine level on growth performance, and carcass and meat quality in finishing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*. 2003. Vol. 83. P. 315–318. doi:10.4141/A02-035
17. Hyun Y., Kim J. D., Ellis M., Peterson B.A., Baker D.H., McKeith F.K. Effect of dietary leucine and lysine levels on intramuscular fat content in finishing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*. 2007. Vol. 87. P. 303–306. doi:10.4141/CJAS06042
18. Yang J., Huo B., Wang K., Hu X., Zhang L., Li H., Huang L., Tang J., Li J., Lin Y., Xu S., Che L., Tian G., Feng B., Wu D., Fang Z. Effects of dietary lysine levels on growth performance, nutrient digestibility, serum metabolites, and carcass and meat quality of Yacha pigs. *Italian Journal of Animal Science*. 2022. Vol. 21. P. 1593–1603. doi:10.1080/1828051X.2022.2123284
19. Rojo A. Evaluation of the effects of branched chain amino acids and corn-distillers dried grains by-products on the growth performance, carcass and meat quality characteristics of pigs [PhD dissertation]. Urbana: University of Illinois at Urbana-Champaign, 2011.

20. Whitney M.H., Shurson G.C., Johnston L.J., Wulf D.M., Shanks B.C. Growth performance and carcass characteristics of grower-finisher pigs fed high-quality corn distillers dried grain with solubles originating from a modern midwestern ethanol plant. *Journal of Animal Science*. 2006. Vol. 84. P. 3356–3363. doi:10.2527/jas.2006-099

21. Graham A.B., Goodband R.D., Tokach M.D., Dritz S.S., DeRouchey J.M., Nitikanchana S., Updike J.J. The effects of low-, medium-, and high-oil distillers dried grains with solubles on growth performance, nutrient digestibility, and fat quality in finishing pigs. *Journal of Animal Science*. 2014. Vol. 92. P. 3610–3623. doi:10.2527/jas.2014-7678

22. Jang J.C., Zeng Z., Urriola P.E., Shurson G.C. Effects of feeding corn distillers dried grains with solubles diets without or with supplemental enzymes on growth performance of pigs: a meta-analysis. *Translational Animal Science*. 2021. Vol. 5(2). P. txab029. doi:10.1093/tas/txab029