

A review on the role of glutamate and glutamine in modern swine production

M. Sychoy¹ | V. Pitera² | I. Ilchuk¹ | I. Balanchuk¹ | T. Holubieva¹ | R. Vozniuk¹ | D. Umanets¹ | A. Shostia² | S. Usenko²

Article info

Citation: Sychoy, M., Pitera, V., Ilchuk, I., Balanchuk, I., Holubieva, T., Vozniuk, R., Umanets, D., Shostia, A., & Usenko, S. (2024). A review on the role of glutamate and glutamine in modern swine production. *Scientific Progress & Innovations*, 27 (4), 109–114. doi: 10.31210/spi2024.27.04.18

Correspondence Author

V. Pitera

E-mail:

pitera@nubip.edu.ua¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Horikhuvtyskyi shliakh Str., 19, Kyiv, 03041, Ukraine² Poltava State Agrarian University, 1/3, Skovorody Str., Poltava, 36003, Ukraine

This article provides an in-depth analysis of contemporary advancements in the application of glutamate and glutamine in swine nutrition, emphasizing their pivotal roles in supporting metabolic processes, immune function, and gut health. Special attention is given to the functional properties of these amino acids, which enhance animal performance, reduce stress during critical periods such as weaning and transportation, and improve metabolic adaptation to adverse conditions. The paper examines their effects on the intestinal barrier, highlighting their ability to mitigate inflammation, stimulate epithelial regeneration, and maintain gut microbiota homeostasis. A substantial portion of the article explores the integration of glutamate and glutamine into low-protein diets, which allow the maintenance of productivity while reducing the environmental impact of swine farming by lowering nitrogen emissions. Research findings demonstrate that supplementation with these amino acids enhances post-weaning piglet performance, decreases diarrhea incidence, and strengthens immunity by activating specific immune cells and reducing levels of pro-inflammatory cytokines. Additionally, the potential of glutamate and glutamine as alternatives to antibiotics is emphasized, given their ability to reduce the risk of infectious diseases while improving overall gut health and function. The article also evaluates the incorporation of these amino acids into the “ideal protein” concept, focusing on achieving a balanced ratio of essential and non-essential amino acids. This balance ensures optimal growth and health of swine and aligns with sustainable production practices. Insights are provided on the impact of these compounds across different age groups, and particular attention is given to their role in minimizing stress-related behavioral and physiological disruptions. However, the paper identifies gaps in the current understanding, particularly concerning the risks of overdose, potential side effects, and the long-term implications of glutamate and glutamine supplementation. These aspects are critical for ensuring safe and effective integration into feeding regimes. Furthermore, the need for future research to establish precise dosage thresholds and explore their metabolic effects under diverse farming conditions is emphasized. The findings presented in this article underscore the multifaceted benefits of glutamate and glutamine supplementation in swine nutrition. These amino acids offer promising avenues for advancing modern, sustainable pig production practices by supporting metabolic health, enhancing immune responses, and reducing environmental impacts. This review highlights the importance of continued exploration and innovation in their application to address the evolving needs of the swine industry.

Keywords: pig feeding, low-protein diets, amino acids, low carbon footprint, umami, technology.

Огляд ролі глутамату та глутаміну в сучасному свинарстві

М. Ю. Сичов¹ | В. О. Пітера¹ | І. І. Ільчук¹ | І. М. Баланчук¹ | Т. А. Голубєва¹ | Р. П. Вознюк¹ | Д. П. Уманець¹ | А. М. Шостя² | С. О. Усенко²¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна² Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

Метою проведеного огляду було здійснення аналізу сучасних досягнень у використанні амінокислот, таких як глутамат і глутамін, у раціонах свиней. У роботі проаналізовано сучасні досягнення у використанні глутамату та глутаміну в годівлі свиней, акцентуючи увагу на їхній ключовій ролі у підтримці метаболічних процесів, імунної відповіді та здоров'я кишечника. Особлива увага приділена функціональним властивостям цих амінокислот, які сприяють підвищенню продуктивності тварин, зниженню рівня стресу під час відлучення поросят і транспортування, а також покращенню метаболічної адаптації до несприятливих умов. У статті розглядаються вплив глутамату та глутаміну на бар'єрні функції кишечника, зокрема їхня здатність зменшувати запальні процеси, стимулювати регенерацію епітелію та підтримувати гомеостаз кишкової мікробіоти. Значна частина статті присвячена застосуванню глутамату та глутаміну в низькопротеїнових раціонах, які дозволяють підтримувати продуктивність тварин, зменшуючи екологічний вплив свинарства за рахунок зниження викидів азоту та оптимізації використання кормів. Дослідження демонструють, що додавання глутамату і глутаміну до раціонів покращує продуктивність поросят після відлучення, знижує частоту діареї, а також підвищує показники імунітету через активацію специфічних імунних клітин і зменшення рівня прозапальних цитокінів. Окремо підкреслюється їхній потенціал як альтернативи антибіотикам завдяки здатності знижувати ризик інфекційних захворювань і підтримувати здоров'я кишечника. У статті також аналізується інтеграція глутамату та глутаміну в концепцію «ідеального протеїну», що базується на збалансованому співвідношенні незамінних і замінних амінокислот, для підвищення ефективності годівлі та збереження здоров'я тварин. Особливу увагу приділено перспективам використання цих амінокислот у раціонах для різних вікових груп свиней. Висвітлено питання необхідності додаткових досліджень щодо оптимальних дозувань, ризиків передозування, можливих побічних ефектів, а також довгострокового впливу на продуктивність і здоров'я тварин. Представлені результати підкреслюють багатфункціональність глутамату і глутаміну, їхню здатність не лише підтримувати метаболічні процеси, але й сприяти зменшенню екологічного впливу свинарства. Це відкриває нові можливості для формування інноваційних стратегій годівлі свиней, які відповідають сучасним вимогам сталого розвитку галузі.

Ключові слова: годівля свиней, низькопротеїнові раціони, амінокислоти, низький вуглецевий слід, умами, технологія.**Бібліографічний опис для цитування:** Сичов М. Ю., Пітера В. О., Ільчук І. І., Баланчук І. М., Голубєва Т. А., Вознюк Р. П., Уманець Д. П., Шостя А. М., Усенко С. О. Огляд ролі глутамату та глутаміну в сучасному свинарстві. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27 (4). С. 109–114.

Відомо, що традиційно класифіковані незамінні амінокислоти, які не можуть синтезуватися організмом *de novo*, є надзвичайно важливими для забезпечення максимального росту та оптимального здоров'я поросят. Однак, навіть у звичних раціонах, вони можуть бути недостатньо представленими для задоволення потреб сучасного свинарства. Дослідження свідчать, що певні поживні речовини й амінокислоти здатні значно покращувати ріст поросят та функції кишечника. Зокрема, використання спеціальних сумішей амінокислот у раціоні позитивно впливає на здоров'я тварин [39].

Примітно, що рекомендації Національної дослідницької ради (NRC) щодо триптофану й треоніну, особливо для поросят у період раннього відлучення, можуть бути недостатніми для забезпечення оптимального росту та здоров'я. Це вимагає перегляду годівельних стандартів у відповідності до сучасних потреб свинарської індустрії [41].

У цьому контексті концепція амінокислот набуває особливого значення, адже вона підкреслює їхню ключову роль у метаболічних процесах і підтримці здоров'я тварин. Наприклад, гліцин, як одна з амінокислот, сприяє покращенню продуктивності та якості м'яса, особливо у поросят із внутрішньоутробними порушеннями росту [14].

Сучасні породи свиней демонструють підвищені метаболічні потреби, зокрема, через інтенсивний катаболізм. У таких умовах низькопротеїнові раціони з додаванням незамінних амінокислот допомагають зменшити викиди азоту та забезпечити достатній рівень росту [20].

Баланс між незамінними та замінними амінокислотами в раціонах є критично важливим для оптимізації раціонів, особливо за умов зниження рівня сирого протеїну. Це дозволяє забезпечити ефективний ріст без шкоди для здоров'я тварин і зменшити негативний вплив на навколишнє середовище [43].

Цікаво, що використання амінокислот у таких раціонах не тільки підтримує продуктивність, але й сприяє покращенню здоров'я свиней навіть у випадках інфекційних викликів [26].

Таким чином, сучасні дослідження підкреслюють значення амінокислот у раціонах поросят. Їх застосування може суттєво підвищити ефективність годівлі, оптимізувати ріст і здоров'я поросят, що є важливим для сталого розвитку свинарської галузі.

Глутамат у сучасному свинарстві: ключові аспекти та перспективи.

Глутамат є однією з найпоширеніших амінокислот у складі рослинних і тваринних кормів, а також у білках тканин організму свиней. Його унікальна метаболічна роль полягає в тому, що до 95–97% дієтичного глутамату катаболізується в тонкому кишечнику під час першого проходження через ворітну вену. Це створює необхідність його синтезу з інших амінокислот через численні метаболічні шляхи, які підтримують гомеостаз організму свиней [16].

Синтез глутамату відбувається практично у всіх типах клітин організму свиней. Основними попередниками для його утворення є амінокислоти,

такі як глутамін, амінокислоти з розгалуженим ланцюгом, аланін і аспарат, а також глюкоза, яка забезпечує α -кетоглутарат, ключовий метаболіт у циклі Кребса. Цей процес підтримується активністю таких ферментів, як глутаматдегідрогеназа (GDH) і амінотрансферази [10].

Глутамат та глутамін мають синергічний вплив на функціонування кишечника та імунної системи свиней. Глутамат забезпечує вуглецевий скелет для синтезу глутаміну, який є важливим джерелом для утворення цитруліну та аргініну. Особливо це важливо в умовах стресу, таких як відлучення поросят, коли зростає потреба у підтримці цілісності кишкового бар'єру та запобіганні запальним процесам [11].

Глутамат позитивно впливає на кишкову мікробіоту, сприяючи зростанню корисних бактерій, які відповідають за ферментацію поживних речовин та утворення коротколанцюгових жирних кислот. Це не лише покращує процес травлення, але й підвищує загальну стійкість організму до кишкових інфекцій. Застосування глутамату в раціонах допомагає досягти більш збалансованого складу мікробіоти та забезпечити її стабільність [31].

Додавання глутамату до раціону свиней має позитивний вплив на екологію. Використання низькопротеїнових раціонів із додаванням амінокислот, зокрема глутамату, знижує викиди азоту в навколишнє середовище. Це зменшує утворення метану та аміаку, водночас зберігаючи продуктивність тварин [23].

Глутамат демонструє значний протизапальний ефект, знижуючи рівень прозапальних цитокінів, таких як TNF- α , у поросят із запальними викликами. Він також сприяє збільшенню рівня антиоксидантних молекул, таких як глутатіон, що забезпечує захист клітин від окислювального стресу та покращує загальний стан здоров'я тварин [11].

Додавання 1–2% глутамату до раціонів поросят після відлучення позитивно впливає на їхню продуктивність та здоров'я кишечника. Це зокрема проявляється у збільшенні висоти ворсинок у тонкому кишечнику, що забезпечує кращу абсорбцію поживних речовин, та зниженні відношення висоти ворсинок до глибини крипт, що є показником здорового кишечника [25].

Дослідження 2018 року [15] виявило, що введення 2% глутамату до раціону поросят після відлучення позитивно впливає на морфологію кишечника, зокрема збільшує висоту ворсинок та покращує співвідношення висоти ворсинок до глибини крипт. Це сприяло зниженню запальних маркерів у крові та підвищенню продуктивності росту.

У 2019 році [17] встановлено, що комбіноване додавання глутамату та аргініну до раціону свиней на відгодівлі призводить до зниження маси жирової тканини. Це пов'язано з підвищенням рівня коротколанцюгових жирних кислот, таких як пропіонат і бутират, та змінами в складі мікробіоти, включно зі зростанням кількості бактерій роду *Actinobacteria*.

Додавання глутамату до раціону поросят, які зазнали запального стресу, сприяло зменшенню рівня прозапальних цитокінів, таких як TNF- α , у плазмі

крові. Воно також регулювало шляхи сигналізації mTOR, TLR4 і NOD, що забезпечило захист епітелію кишечника та підтримку його структурної цілісності [24].

Дослідження Wang Z. [31] продемонструвало, що введення до раціону мононатрієвої солі глутамату (MSG) значно впливає на метаболізм поживних речовин у поросят. Було виявлено, що мононатрієва сіль знижує рівень цитрату в сироватці крові, водночас підвищуючи концентрацію глутаміну, триметиламіну, альбуміну та холіну. Ці зміни забезпечують наукову основу для розробки кормових добавок, які покращують споживання корму у поросят.

Guzmán-Pino [12] з іншими дослідниками стверджують, що додавання 5 % мононатрієвого глутамату до раціону свиноматок вплинуло на кормову поведінку їхніх поросят. Зокрема, потомство свиноматок мало знижену чутливість до смаку умамі та підвищену мотивацію до споживання солодких кормів. Це свідчить про те, що дієтична добавка мононатрієвої солі може модифікувати харчову поведінку у поросят.

Згідно з дослідженнями Hou та Wu [15], додавання 2 % глутамату до раціону поросят сприяє підвищенню споживання корму та покращенню коефіцієнта засвоєння поживних речовин. Було зафіксовано збільшення приросту ваги та зниження рівня запальних маркерів у крові, що свідчить про позитивний вплив глутамату на загальний стан здоров'я поросят.

Глутамат є ключовим компонентом, що надає смак умамі, стимулюючи апетит і харчову поведінку. У свинарстві його використовують для підвищення апетиту, особливо у період стресу чи після відлучення поросят. Введення мононатрієвого глутамату до кормів сприяє збільшенню споживання завдяки активації рецепторів, відповідальних за смак умамі, що покращує продуктивність та харчовий рефлекс [40].

Результати дослідження 2019 року [12] свідчать, що додавання мононатрієвого глутамату до раціону свиноматок змінює харчову поведінку їхніх поросят. У потомства підвищилася чутливість до смаку умамі, а також мотивація до споживання солодких розчинів. Додавання глутамату до раціонів не лише покращує смакові властивості, але й впливає на метаболічні процеси, які активізують апетит. Наприклад, використання 1 % мононатрієвої солі глутамату у раціонах поросят після відлучення допомагало зменшити стрес та уникнути зниження споживання корму. Це досягається завдяки активації рецепторів смаку та метаболічних шляхів, які регулюють харчову поведінку.

Дослідження свідчать, що додавання солі глутамату у раціони свиноматок змінює кормову поведінку їхніх поросят. Потомство свиноматок, які споживали мононатрієву сіль глутамату, проявляло більшу зацікавленість до кормів, особливо із солодким смаком, що свідчить про можливий ефект пренатального впливу на формування харчових звичок [12].

Глутамат також використовується для підвищення привабливості кормів, зокрема для свиней із низьким

апетитом. Його застосування забезпечує кращу прийнятність навіть у дієтах із пониженим вмістом білка, дозволяючи оптимізувати раціони без зниження продуктивності [16].

Крім стимуляції апетиту, глутамат позитивно впливає на поведінку свиней у стресових ситуаціях. Наприклад, введення мононатрієвої солі глутамату у раціон під час транспортування знижувало агресивність і тривожність, що пов'язано з його впливом на нейромедіаторні системи [35].

Ці факти підтверджують багатофункціональність глутамату: він не тільки покращує смакові характеристики корму, але й підвищує споживання, сприяє зменшенню стресу та підтримує продуктивність тварин.

Дослідження 2019 року [5] показало, що глутамат у раціонах свиней сприяє адаптації до холоду, зменшуючи негативний вплив стресу. Це забезпечується покращенням морфології кишечника та ефективністю засвоєння поживних речовин.

Глутамат є одним із головних джерел енергії для кишечника. Він забезпечує енергетичну підтримку через окислювальні шляхи, сприяючи виробленню АТФ та оптимальному функціонуванню кишкового бар'єра [29].

У 2019 році Zhao та ін. [42] було визначено, що глутамат сприяє підвищенню активності антиоксидантних ферментів у кишечнику. Це захищає клітини від окислювального стресу і підтримує функції кишечника, що є критичним для здоров'я поросят.

Включення 1 % L-глутамату до раціонів поросят, які піддавалися інфекційному стресу, сприяло покращенню співвідношення між приростом ваги та споживанням корму, а також зменшувало прояви діареї. Це підкреслює роль глутамату в оптимізації споживання та засвоєння корму у поросят [34].

Включення глутамату та аспартату в раціони з низьким вмістом лізину покращувало середньодобовий приріст ваги та стан кишечника у поросят. Було зафіксовано позитивний вплив на морфологію кишечника, що сприяло підвищенню споживання корму та засвоєнню поживних речовин [7].

Роль глутаміну в метаболізмі свиней: синтез, функції та застосування.

Глутамін є однією з найважливіших амінокислот у метаболізмі свиней. У плазмі крові поросних і лактуючих свиноматок, а також у плодів, новонароджених та відлучених поросят, концентрація глутаміну досягає 0,35–0,5 мМ, що робить його третьою за поширеністю вільною амінокислотою [36]. Значна частина глутаміну, отриманого з їжі, а саме 67 %, метаболізується в тонкому кишечнику під час першого проходження через ворітну вену. Основний внесок у рівень циркулюючого глутаміну забезпечує його ендогенний синтез [38].

Синтез глутаміну каталізується єдиним ферментом – глутамінсинтетазою, яка використовує глутамат і аміак у присутності АТФ. Основними тканинами, відповідальними за синтез глутаміну, є скелетні м'язи, хоча легені, жирова тканина та молочна залоза також роблять свій внесок у цей процес [32]. Глутамін розщеплюється шляхом

гідролізу, що каталізується фосфат-активованою глутаміназою. Отриманий глутамат може перетворюватися на глутатіон, аланін, орнітин, пролін чи аргінін або окислюватися до вуглекислого газу. Водночас утворений аміак перетворюється на сечовину, що допомагає регулювати його концентрацію в крові [38].

Нирки відіграють ключову роль у підтримці кисло-лужного балансу організму. Аміак, отриманий із глутаміну, зв'язується з протонами, утворюючи амоній (NH_4^+), який виводиться з організму, сприяючи зниженню кислотності крові [4]. Особливістю лактуючої молочної залози та плаценти свиней є відсутність активності глутамінази, що дозволяє зберігати глутамін для підтримки виробництва молока та росту плода [22, 28].

Додавання 1 % глутаміну до раціону поросят після відлучення сприяє покращенню продуктивності, зниженню частоти та тривалості діареї, а також покращує ефективність використання корму. Зафіксовано зменшення співвідношення корм/приріст на 12,05 % і зниження рівня сечовини в крові на 4,27 %, тоді як концентрація білка підвищилася на 18,7 % порівняно з контрольною групою [45].

Глутамін та глутамат є основними джерелами енергії для ентероцитів поросят, забезпечуючи значно більший синтез АТФ, ніж глюкоза. Це є важливим для підтримки цілісності кишкового бар'єру, особливо у новонароджених та відлучених тварин [13]. У випадках інфекційного стресу, наприклад, при зараженні *Escherichia coli*, добавки глутаміну сприяли зниженню запалення та підвищенню рівня IgA, що підтримує імунну систему поросят [33].

Глутамін також відіграє вирішальну роль у розвитку ембріонів. Дослідження показали, що його застосування *in vitro* сприяє підвищенню частоти розвитку ембріонів до стадії бластоцисти, збільшенню кількості клітин та зменшенню апоптозу [3].

У 2024 році дослідженнями групи вчених на чолі з Jiang T. [19] було показано, що глутамін впливає на активацію специфічних генів у репродуктивних тканинах, які беруть участь у розвитку плода та функціонуванні плаценти. Це свідчить про необхідність підвищення рівня глутаміну в раціонах порослих свиноматок для забезпечення оптимального росту потомства.

Сучасні дослідження підтвердили антиоксидантні властивості глутаміну, зокрема його участь у синтезі глутатіону. Це сприяє захисту клітин від окислювального стресу в умовах інтенсивного метаболізму, таких як лактація чи ріст свиней [2].

Нове дослідження підтвердило, що глутамін залишається пріоритетним джерелом енергії для ентероцитів поросят у період відлучення, що сприяє покращенню здоров'я кишечника та підвищенню продуктивності [2].

Глутамін також виявився ефективним у зниженні рівня запальних цитокінів через активацію Toll-like рецепторів (TLR) та інгібування NF- κ B-сигнального шляху, що сприяє регуляції запальних реакцій у свиней [1].

У 2023 році [18] результати наукових досліджень показали, що додавання 0,5 % L-глутаміну до раціону свиней значно покращує функції неспецифічного

імунітету. Зокрема, спостерігалось підвищення фагоцитарної активності моноцитів і гранулоцитів, а також збільшення рівнів прозапальних цитокінів, таких як TNF- α , IL-1 β та IL-10. Ці зміни свідчать про посилення захисних механізмів організму і здатності протистояти патогенам.

Застосування глутаміну як кормової добавки позитивно впливає на будову та функції кишечника поросят із низькою масою тіла. Було виявлено покращення показників морфології товстого кишечника, зокрема зменшення концентрації біогенних амінів, таких як кадаверин, у його вмісті. Крім того, спостерігалось збільшення кількості імунних CD3+ клітин у слизовій оболонці, що свідчить про покращення імунного статусу та метаболізму кишечника [27].

Як свідчать наукові джерела, додавання L-глутаміну та L-глутамату до раціонів із низьким вмістом лізину сприяє поліпшенню росту свиней і здоров'я їхнього кишечника. Зокрема, збільшується висота ворсинок у тонкому кишечнику, а також кількість келихоподібних клітин, що сприяє покращенню бар'єрної функції кишечника та засвоєння поживних речовин [8].

Дослідження 2022 року [21] підтвердило, що глутамін відіграє важливу роль у підтриманні кисло-лужного балансу, особливо в нирках. Завдяки його здатності регулювати рівень амонію, глутамін сприяє підтриманню нормального рН крові, що особливо важливо для тварин із високим рівнем енергетичного обміну.

Глутамін є важливим джерелом енергії для печінки та кишечника. Його застосування в раціонах активує сигнальні шляхи mTOR-S6K1-4EBP1, які регулюють білковий синтез і енергетичний метаболізм. Це сприяє ефективнішому використанню поживних речовин і підтриманню росту свиней [6].

Нові дослідження стверджують, що концепція «ідеального протеїну», яка базується на ідеальному вмісті необхідних амінокислот, є неповною для годівлі свиней, оскільки не враховує незамінні амінокислоти, такі як глутамін і глутамат. Важливо включати всі необхідні амінокислоти для забезпечення оптимального росту і здоров'я свиней [37].

Використання 0,2 % L-глутаміну в раціонах свиней виявилось ефективним заміником антибіотиків. Дослідження показало, що така добавка сприяє зниженню рівня запальних реакцій, поліпшенню продуктивності тварин і зменшенню проявів стресової поведінки після транспортування [9].

Додавання до раціону поросят глутаміну, глутамату та аспартату сприяло поліпшенню морфологічних показників кишечника. Зокрема, це підвищувало висоту ворсинок і сприяло регенерації епітелію навіть у стресових умовах після відлучення [31].

Включення до раціону поросят глутаміну та глутамату зменшило тривалість і частоту діареї після відлучення. У перші 10 днів після зміни раціону відзначено підвищення ефективності росту поросят на 12 % [44].

Отримані результати демонструють багатофункціональність глутамату та глутаміну як

кормових добавок, що сприяють оптимізації метаболічних процесів, покращенню здоров'я кишечника та підвищенню продуктивності свиней. Ці аспекти особливо важливі для сталого розвитку свинарської галузі, забезпечуючи як економічну ефективність, так і екологічну відповідальність.

Висновки

Метою проведеного огляду було здійснення аналізу сучасних досягнень у використанні амінокислот, таких як глутамат і глутамін, у раціонах свиней. Глутамат і глутамін відіграють ключову роль у сучасному свинарстві, сприяючи зростанню продуктивності, покращенню імунної відповіді та здоров'я кишечника, а також зменшенню екологічного навантаження. Їхній потенціал як альтернативи антибіотикам є особливо цінним у контексті скорочення їх використання у годівлі тварин.

Водночас залишаються недостатньо вивченими аспекти передозування, ризику та побічні ефекти надмірного застосування цих амінокислот. Необхідні подальші дослідження для визначення оптимальних дозувань, що забезпечать максимальну ефективність і безпеку їх використання, особливо в умовах різних фізіологічних станів та стресових ситуацій.

Конфлікт інтересів

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

References

1. Akbari, A., Jelodar, G., & Hosseinzadeh, S. (2024). Injection of resistin into the paraventricular nucleus produces a cardiovascular response that may be mediated by glutamatergic transmission in the rostral ventrolateral medulla. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 27 (1), 39–48. <https://doi.org/10.22038/IJBMS.2023.69324.15110>
2. He, J., Feng, G. D., Ao, X., Li, Y. F., Qian, H. X., Liu, J. B., Bai, G. Y., & He, Z. Z. (2016). Effects of L-glutamine on growth performance, antioxidant ability, immunity and expression of genes related to intestinal health in weanling pigs. *Livestock Science*, 189, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.05.009>
3. Jiang, J., Chen, D., Yu, B., He, J., Yu, J., Mao, X., Huang, Z., Luo, Y., Luo, J., & Zheng, P. (2024). Lactic acid and glutamine have positive synergistic effects on growth performance, intestinal function, and microflora of weaning piglets. *Animals*, 14(23), 3532. <https://doi.org/10.3390/ani14233532>
4. Imenez Silva, P. H., & Mohebbi, N. (2022). Kidney metabolism and acid–base control: back to the basics. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology*, 474 (8), 919–934. <https://doi.org/10.1007/s00424-022-02696-6>
5. Leite da Silva, A., dos Santos, S. G. C. G., Saraiva, E. P., Fonsêca, V. de F. C., Givisiez, P. E. N., Pascoal, L. A. F., Martins, T. D. D., & de Amorim, M. L. C. M. (2019). Supplementation of diets with glutamine and glutamic acid attenuated the effects of cold stress on intestinal mucosa and performance of weaned piglets. *Animal Production Science*, 59 (10), 1880. <https://doi.org/10.1071/an17630>
6. Lin, Q., Tu, X., Li, X., Gou, F., Ding, L., Lu, Z., Feng, J., Ying, Y., & Hu, C. (2024). Effects of electrolyte balance on intestinal barrier, amino acid metabolism, and mTORC1 signaling pathway in piglets fed low-protein diets. *Animal Nutrition*, 17, 408–417. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.03.011>
7. Dorea, E. S., Júnior, V. R., Correia, A. M., & Rocha, G. C. (2022). PSXV-19 Effects of L-Glutamine and L-Glutamate on nursery pigs fed diets with low digestible lysine content. *Journal of Animal Science*, 100 (3), 339–340. <https://doi.org/10.1093/jas/skac247.620>
8. Gomes, M. da S., Valente Júnior, D. T., Silva, F. C. de O., Cunha Júnior, R. L., Ribeiro Junior, V., Saraiva, A., & Rocha, G. C. (2021). Effects of glutamine and glutamate on nursery piglets fed diets with different digestible lysine content. *Semina: Ciências Agrárias*, 42 (6supl2), 3919–3930. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n6supl2p3919>
9. Duttlinger, A. W., Kpodo, K. R., Lay, D. C., Richert, B. T., & Johnson, J. S. (2019). Replacing dietary antibiotics with 0.20% L-glutamine in swine nursery diets: Impact on health and productivity of pigs following weaning and transport. *Journal of Animal Science*, 97 (5), 2035–2052. <https://doi.org/10.1093/jas/skz098>
10. Feng, J., Quan, Y., Gu, Y., Liu, F., Huang, X., Shen, H., Dang, Y., Cao, M., Gao, W., Lu, X., Wang, Y., Song, C., & Wang, S. (2017). Enhancing poly-γ-glutamic acid production in *Bacillus amyloliquefaciens* by introducing the glutamate synthesis features from *Corynebacterium glutamicum*. *Microbial Cell Factories*, 16 (1). <https://doi.org/10.1186/s12934-017-0704-y>
11. Guo, J., Liang, T., Chen, H., Li, X., Ren, X., Wang, X., Xiao, K., Zhao, J., Zhu, H., & Liu, Y. (2022). Glutamate attenuates lipopolysaccharide induced intestinal barrier injury by regulating corticotropin-releasing factor pathway in weaned pigs. *Animal Bioscience*, 35 (8), 1235–1249. <https://doi.org/10.5713/ab.21.0476>
12. Guzmán-Pino, S. A., Lazcano, C., De Luca, V., Figueroa, J., Valenzuela, C., & Roura, E. (2019). Dietary inclusion of monosodium glutamate in gestating and lactating sows modifies the preference thresholds and sensory-motivated intake for umami and sweet solutions in post-weaned pigs. *Animals*, 9 (6), 336. <https://doi.org/10.3390/ani9060336>
13. Zhu, M., Lai, W., Yao, L., Xu, E., Chen, X., Zhang, Y., & Li, X.-G. (2023). Glutamine regulates gene expression profiles to increase the proliferation of porcine intestinal epithelial cells and the expansion of intestinal stem cells. *Animals*, 13 (18), 2917. <https://doi.org/10.3390/ani13182917>
14. He, W., Posey, E. A., Steele, C. C., Savell, J. W., Bazer, F. W., & Wu, G. (2023). Dietary glycine supplementation enhances postweaning growth and meat quality of pigs with intrauterine growth restriction. *Journal of Animal Science*, 101. <https://doi.org/10.1093/jas/skad354>
15. Hou, Y., & Wu, G. (2018). L-Glutamate nutrition and metabolism in swine. *Amino Acids*, 50 (11), 1497–1510. <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2634-3>
16. Roura, E., & Fu, M. (2017). Taste, nutrient sensing and feed intake in pigs (130 years of research: then, now and future). *Animal Feed Science and Technology*, 233, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.08.002>
17. Hu, C., Li, F., Duan, Y., Yin, Y., & Kong, X. (2019). Glutamic acid supplementation reduces body fat weight in finishing pigs when provided solely or in combination with arginine and it is associated with colonic propionate and butyrate concentrations. *Food & Function*, 10 (8), 4693–4704. <https://doi.org/10.1039/c9fo00520j>
18. Jarosz, Ł. S., Tomaszewska, E., Marek, A., Hejdysz, M., Burmańczuk, A., Ciszewski, A., Nowaczewski, S., Gładzki, Z., Batorski, M., Świątkiewicz, M., & Rysiak, A. (2023). The effect of glutamine as feed additive on selected parameters of the nonspecific immune response in pigs. *Agriculture*, 13 (4), 912. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040912>
19. Jiang, T., Zhou, Z.-M., Ling, Z.-Q., Zhang, Q., Wu, Z.-Z., Yang, J.-W., Yang, S.-Y., Yang, B., & Huang, L.-S. (2024). Pig H3K4me3, H3K27ac, and gene expression profiles reveal reproductive tissue-specific activity of transposable elements. *Zoological Research*, 45 (1), 138–151. <https://doi.org/10.24272/j.issn.2095-8137.2023.060>
20. Liu, S., Ni, J.-Q., Radcliffe, J. S., & Vonderohe, C. E. (2017). Mitigation of ammonia emissions from pig production using reduced dietary crude protein with amino acid supplementation. *Bioresource Technology*, 233, 200–208. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.02.082>
21. Newsholme, P., Diniz, V. L. S., Dodd, G. T., & Cruzat, V. (2022). Glutamine metabolism and optimal immune and CNS function. *Proceedings of the Nutrition Society*, 82 (1), 22–31. <https://doi.org/10.1017/s0029665122002749>
22. O'Quinn, P. R., Knabe, D. A., & Wu, G. (2002). Arginine catabolism in lactating porcine mammary tissue. *Journal of Animal Science*, 80 (2), 467–474. <https://doi.org/10.2527/2002.802467x>
23. Qi, M., Wang, J., Tan, B., Li, J., Liao, S., Liu, Y., & Yin, Y. (2020). Dietary glutamine, glutamate, and aspartate supplementation improves hepatic lipid metabolism in post-weaning piglets. *Animal Nutrition*, 6 (2), 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.12.002>
24. Qin, Q., Xu, X., Wang, X., Wu, H., Zhu, H., Hou, Y., Dai, B., Liu, X., & Liu, Y. (2018). Glutamate alleviates intestinal injury, maintains mTOR and suppresses TLR4 and NOD signaling pathways in weanling pigs challenged with lipopolysaccharide. *Scientific Reports*, 8 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33345-7>

25. Reeds, P. J., Burrin, D. G., Stoll, B., Jahoor, F., Wykes, L., Henry, J., & Frazer, M. E. (1997). Enteral glutamate is the preferential source for mucosal glutathione synthesis in fed piglets. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 273 (2), E408–E415. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1997.273.2.e408>
26. Rodrigues, L., Wellington, M. O., Krone, J. E., González-Vega, C., Htoo, J. K., Van Kessel, A. G., & Columbus, D. A. (2020). 118 Functional amino acid supplementation, regardless of dietary protein content, improves growth performance, acute-phase response, and bacterial shedding in Salmonella-challenged pigs. *Journal of Animal Science*, 98 (4), 99–100. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa278.182>
27. Perna, S., Alalwan, T. A., Alaali, Z., Alnashaba, T., Gasparri, C., Infantino, V., Hammad, L., Riva, A., Petrangolini, G., Allegrini, P., & Rondanelli, M. (2019). The role of glutamine in the complex interaction between gut microbiota and health: A narrative review. *International Journal of Molecular Sciences*, 20 (20), 5232. <https://doi.org/10.3390/ijms20205232>
28. Self, J. T., Spencer, T. E., Johnson, G. A., Hu, J., Bazer, F. W., & Wu, G. (2004). Glutamine synthesis in the developing porcine placental. *Biology of Reproduction*, 70 (5), 1444–1451. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.103.025486>
29. Tomé, D. (2018). The roles of dietary glutamate in the intestine. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 73 (5), 15–20. <https://doi.org/10.1159/000494777>
30. Wang, J., Tan, B. E., Li, J., Qi, M., Ren, W., & Yin, Y. (2019). PSXIII-23 Dietary glutamine, glutamate, and aspartate supplementation improves morphology and intercellular junction of small intestine in piglets. *Journal of Animal Science*, 97 (3), 472–474. <https://doi.org/10.1093/jas/skz258.930>
31. Wang, Z., Zhang, J., Wu, P., Luo, S., Li, J., Wang, Q., Huang, P., Li, Y., Ding, X., Hou, Z., Wu, D., Huang, J., Tu, Q., & Yang, H. (2019). Effects of oral monosodium glutamate administration on serum metabolomics of suckling piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104 (1), 269–279. <https://doi.org/10.1111/jpn.13212>
32. Wafford, M. (2008). Glutamine metabolism and function in relation to proline synthesis and the safety of glutamine and proline supplementation. *The Journal of Nutrition*, 138 (10), 2003S–2007S. <https://doi.org/10.1093/jn/138.10.2003s>
33. Kyoung, H., Lee, J. J., Cho, J. H., Choe, J., Kang, J., Lee, H., Liu, Y., Kim, Y., Kim, H. B., & Song, M. (2021). Dietary glutamic acid modulates immune responses and gut health of weaned pigs. *Animals*, 11 (2), 504. <https://doi.org/10.3390/ani11020504>
34. Wongchanla, S., Park, S., Kim, K., Sun, S., Li, X., & Liu, Y. (2023). 264 Effects of L-glutamate and L-aspartate supplementation on growth performance, severity of diarrhea, and systemic immunity of weaned piglets challenged with F18 enterotoxigenic *Escherichia coli*. *Journal of Animal Science*, 101 (3), 202–203. <https://doi.org/10.1093/jas/skad281.244>
35. Wang, L., Wang, C., Peng, Y., Zhang, Y., Liu, Y., Liu, Y., & Yin, Y. (2023). Research progress on anti-stress nutrition strategies in swine. *Animal Nutrition*, 13, 342–360. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.03.006>
36. Wessels, A. G., Simongiovanni, A., & Zentek, J. (2022). Impact of dietary supplementation of L-Arginine, L-Glutamine, and the combination of both on nursing performance of multiparous sows. *Translational Animal Science*, 7 (1). <https://doi.org/10.1093/tas/txac169>
37. Wu, G., & Li, P. (2022). The “ideal protein” concept is not ideal in animal nutrition. *Experimental Biology and Medicine*, 247 (13), 1191–1201. <https://doi.org/10.1177/15353702221082658>
38. Wu, G., Bazer, F. W., Dai, Z., Li, D., Wang, J., & Wu, Z. (2014). Amino acid nutrition in animals: protein synthesis and beyond. *Annual Review of Animal Biosciences*, 2(1), 387–417. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022513-114113>
39. Yi, D., Li, B., Hou, Y., Wang, L., Zhao, D., Chen, H., Wu, T., Zhou, Y., Ding, B., & Wu, G. (2018). Dietary supplementation with an amino acid blend enhances intestinal function in piglets. *Amino Acids*, 50 (8), 1089–1100. <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2586-7>
40. Bauchart-Thevret, C., Stoll, B., Benight, N. M., Olutoye, O., Lazar, D., & Burrin, D. G. (2013). Supplementing monosodium glutamate to partial enteral nutrition slows gastric emptying in preterm pigs. *The Journal of Nutrition*, 143 (5), 563–570. <https://doi.org/10.3945/jn.112.167783>
41. Zhang, Q., Hou, Y., Bazer, F. W., He, W., Posey, E. A., & Wu, G. (2021). Amino acids in swine nutrition and production. *Amino Acids in Nutrition and Health*, 81–107. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54462-1_6
42. Zhao, Y., Li, J.-Y., Yin, L., Feng, L., Liu, Y., Jiang, W.-D., Wu, P., Zhao, J., Chen, D.-F., Zhou, X.-Q., & Jiang, J. (2019). Effects of dietary glutamate supplementation on flesh quality, antioxidant defense and gene expression related to lipid metabolism and myogenic regulation in Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture*, 502, 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.050>
43. Zhao, Y., Tian, G., Chen, D., Zheng, P., Yu, J., He, J., Mao, X., Huang, Z., Luo, Y., Luo, J., & Yu, B. (2019). Effect of different dietary protein levels and amino acids supplementation patterns on growth performance, carcass characteristics and nitrogen excretion in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10 (1). <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0381-2>
44. Zou, X. T., Zheng, G. H., Fang, X. J., & Jiang, J. F. (2006). Effects of glutamine on growth performance of weanling piglets. *Czech Journal of Animal Science*, 51 (10), 444–448. <https://doi.org/10.17221/3963-cjas>

ORCID

- M. Sychov  <https://orcid.org/0000-0002-6319-9876>
- V. Pitera  <https://orcid.org/0000-0002-3390-2516>
- I. Ilchuk  <https://orcid.org/0000-0003-0961-6613>
- I. Balanchuk  <https://orcid.org/0000-0002-7576-6508>
- T. Holubieva  <https://orcid.org/0000-0002-2467-5972>
- R. Vozniuk  <https://orcid.org/0000-0003-4710-5371>
- D. Umanets  <https://orcid.org/0000-0002-1973-1132>
- A. Shostia  <https://orcid.org/0000-0002-1475-2364>
- S. Usenko  <http://orcid.org/0000-0001-9263-5625>



© 2024 Sychov M. et al. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.