

Науковий вісник Львівського національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.

Серія: Ветеринарні науки

Scientific Messenger of Lviv National University
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.

Series: Veterinary sciences

ISSN 2518-7554 print
ISSN 2518-1327 online

doi: 10.32718/nvlvet11809
<https://nvlvet.com.ua/index.php/journal>

UDC 636.4:612.3:591.1

Dynamics of key gut microbiome taxa in piglets under the influence of an isotonic protein mixture

O. A. Sheptukha[✉], D. M. Masiuk

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 06.03.2025

Received in revised form

07.04.2025

Accepted 08.04.2025

Dnipro State Agrarian and
Economic University, Serhiia
Yefremova Str., 25, Dnipro,
49027, Ukraine.
Tel.: +38-050-412-96-41
E-mail: shepto@icloud.com

Sheptukha, O. A., & Masiuk, D. M. (2025). Dynamics of key gut microbiome taxa in piglets under the influence of an isotonic protein mixture. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary sciences, 27(118), 63–74. doi: 10.32718/nvlvet11809

Early weaning of piglets causes significant changes in intestinal microbiota, digestion, and immune response of the organism, induces substantial disruptions in intestinal morphology and barrier function that manifest as villus atrophy, decreased crypt height, impaired intercellular junctions, and increased mucosal permeability due to abrupt dietary changes, stress, and microbial imbalance disruption, which impairs nutrient absorption and overall organism resistance. Considering this, the study aims to examine the dynamics of microbiota composition in different intestinal segments of early-age piglets during the weaning period and to evaluate how isotonic-protein mixture affects the abundance of key bacterial groups (*Escherichia coli*, *Staphylococcus* spp., *Enterococcus* spp.). We conducted the experiment on early postnatal piglets and divided them into control and experimental groups. We determined bacterial counts in the duodenum, jejunum, ileum, cecum, colon, and rectum at 9, 21, and 35 days of age by quantifying colony-forming units (CFU) per 1 cm³ of intestinal content. Weaning significantly reduced *E. coli* levels across all intestinal segments in both groups (by 80.0–99.1 %; $P < 0.001$). Tonisity Px application amplified this effect, particularly in the cecum (-73.3 %; $P < 0.01$) and duodenum (-45.2 %; $P < 0.01$). *Staphylococcus* spp. abundance surged by day 21 (30–44-fold; $P < 0.001$) but decreased post-weaning (by 84.7–99.6 %; $P < 0.001$), with the experimental group showing higher levels in specific intestinal segments at later stages. *Enterococcus* spp. showed the most pronounced changes: in the control group, their abundance declined with age (by 97.4–98.7 %; $P < 0.001$), whereas the experimental group recorded significant increases: 6.7-fold in the jejunum ($P < 0.01$), 139.4-fold in the cecum ($P < 0.001$), and 477-fold in the colon ($P < 0.001$). These findings indicate that isotonic protein mixture stimulates beneficial microbiota. Thus, weaning represents a critical period for shaping piglet gut microbiota, characterized by substantial shifts in bacterial composition. Isotonic protein mixture promotes microbial balance, reduces pathogenic bacterial colonization, and enhances beneficial microbiota development, potentially improving piglet resistance to infections and supporting optimal postnatal growth.

Key words: piglets, gut microbiota, isotonic protein mixture, *Escherichia coli*, *Staphylococcus* spp., *Enterococcus* spp.

Динаміка вмісту ключових таксонів мікробіому кишечника поросят за дії ізотонічно-протеїнової суміші

О. А. Шептуха[✉], Д. М. Масюк

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

Відлучення поросят у ранньому віці супроводжується значними змінами в кишкової мікробіоті, травленні та імунній відповіді організму, що призводить до суттєвих порушень морфології та бар'єрної функції кишечника у вигляді атрофії ворсинок, зниження висоти крипти, порушення міжклітинних з'єднань та підвищеної проникності слизової оболонки внаслідок різкої зміни раціону, стресу та порушення мікробного балансу, що негативно впливає на всмоктування поживних речовин і загальну резистентність

організму. Зважаючи на це, мета дослідження полягає у вивченні динаміки складу мікробіоти різних відділів кишечника поросят раннього віку в період відлучення та оцінка впливу ізотонічно-протеїнової суміші на чисельність ключових бактеріальних груп (*Escherichia coli*, *Staphylococcus spp.*, *Enterococcus spp.*). Експеримент провели на поросятах раннього постнатального періоду, яких поділили на контрольну та дослідну групи. Кількість бактерій визначали в дванадцятипалій, порожній, клубовій, сліпій, ободовій та прямій кишках на 9-й, 21-й і 35-й дні життя методом підрахунку колонісуючих одиниць (КУО) на 1 см³ вмісту. Установлено, що відлучення в обох групах супроводжувалося значним зниженням рівня *E. coli* у всіх відділах кишечника (на 80,0–99,1 %; $P < 0,001$). Застосування ізотонічно-протеїнової суміші посилювало цей ефект, особливо в сліпій (-73,3 %; $P < 0,01$) і дванадцятипалій (-45,2 %; $P < 0,01$) кишках. Чисельність *Staphylococcus spp.* різко зростала до 21-го дня (у 30–44 рази; $P < 0,001$) із подальшим зниженням після відлучення (на 84,7–99,6 %; $P < 0,001$); у дослідній групі відзначили підвищення їх рівня в окремих відділах на пізніх етапах. Найвиразніші зміни спостерігали для *Enterococcus spp.*: у контрольній групі їх кількість знижувалася з віком (на 97,4–98,7 %; $P < 0,001$), тоді як у дослідній групі зафіксували значне зростання: у порожній кишці – у 6,7 рази ($P < 0,01$), сліпій – у 139,4 рази ($P < 0,001$), ободовій – у 477 разів ($P < 0,001$). Отже, період відлучення є ключовим для формування мікробіоценозу кишечника поросят і характеризується суттєвими змінами бактеріального складу. Застосування ізотонічно-протеїнової суміші сприяє нормалізації мікробного балансу, зниженню чисельності патогенних бактерій і стимуляції розвитку корисної мікрофлори, що може підвищувати стійкість поросят до інфекцій і сприяти їхньому оптимальному розвитку.

Ключові слова: поросята, мікробіота кишечника, ізотонічно-протеїнова суміш, *Escherichia coli*, *Staphylococcus spp.*, *Enterococcus spp.*

Вступ

Дослідження механізмів регуляції бар'єрної функції кишечника поросят у ранньому постнатальному періоді є важливим напрямом сучасної ветеринарної медицини (Modina et al., 2019). У перші тижні життя поросята особливо вразливі до стресових факторів, що можуть спричинити порушення кишкового гомеостазу, дисбаланс мікробіоти, метаболічні розлади та зниження засвоєння поживних речовин (Campbell et al., 2013). Це негативно впливає на ріст, життєздатність і продуктивність тварин. Тому розробка науково обґрунтованих методів підтримки бар'єрної функції кишечника є критично важливою для покращення здоров'я поросят і зменшення економічних втрат (Sun et al., 2021).

Сучасні дослідження підтверджують тісний зв'язок між станом кишкового бар'єру та мікробіотою, яка відіграє ключову роль у синтезі біологічно активних метаболітів, регуляції імунних реакцій, підтримці цілісності епітеліальних клітин і протидії патогенним мікроорганізмам (Gierzyńska et al., 2022). Порушення мікробіому можуть призводити до змін метаболізму, підвищення проникності кишкової стінки, запальних процесів і системних обмінних порушень (Tommaso et al., 2021). Отже, збереження нормального складу мікробіоти та оптимізація метаболічних процесів є пріоритетними завданнями у вирощуванні поросят.

Одним із перспективних підходів для покращення стану кишкового бар'єру є застосування біологічно активних речовин, зокрема ізотонічно-протеїнової суміші (ІПС). Передбачається, що ІПС може сприяти нормалізації структурно-функціонального стану кишкового епітелію, стимулювати розвиток місцевого імунітету, стабілізувати мікробіом та покращувати енергетичний обмін в ентероцитах (Masiuk et al., 2022). Застосування таких технологій у годівлі поросят може не лише сприяти підвищенню їх стійкості до стресів, а й оптимізувати метаболічні процеси, що в кінцевому підсумку позитивно позначається на їхньому здоров'ї, темпах росту та продуктивності (Clarke et al., 1997; Jumaa & Müller, 1999; Buzoianu et al., 2020).

Мета дослідження

Вивчення вікової динаміки популяцій бактерій родів *Escherichia*, *Staphylococcus* та *Enterococcus* у різних відділах кишечника поросят та оцінювання впливу ізотонічно-протеїнової суміші (ІПС) на ці процеси упродовж перших 35 днів життя.

Матеріал і методи досліджень

Для проведення експерименту відібрали 168 трипородних гібридних поросят генетики DanBred 2-денного віку, яких поділили на дві групи: контрольну та дослідну (по 84 тварини в кожній). З 3-ї до 8-ї доби поросят дослідної групи випоювали ізотонічно-протеїнову суміш, яка містить амінокислоти, електроліти та декстрозу для підтримки кишкового здоров'я (виробник компанія Tonisity Px, Ірландія). Для вивчення стану кишкового мікробіому в 9-, 21- та 35-добовому віці з кожної групи відбирали по 6 поросят, яких піддавали евтаназії.

Для комплексного аналізу мікробіоценозу кишечника досліджували проби хімусу, відібрані з дванадцятипалої, порожньої, клубової, сліпої, ободової та прямої кишки одразу після діагностичного забою. Забій поросят проводили з дотриманням етичних вимог відповідно до Закону України № 3447-IV від 21.02.2006 “Про захист тварин від жорстокого поводження”, принципів “Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для експериментальних та інших наукових цілей” (Страсбург, 1986), а також із затвердженням комісії з біоетики Дніпровського державного аграрно-економічного університету.

Кількісний склад кишкової мікрофлори визначали шляхом приготування десятикратних серійних розведень зразків відповідно до ДСТУ ISO 6887-1:2003 із подальшим висівом отриманих суспензій на спеціалізовані селективні поживні середовища. Для ідентифікації бактерій групи кишкової палички (*Escherichia coli* та споріднених видів) використовували середовище Ендо, стафілококів – агар Бейрд-Паркера, ентерококів – жовчно-ескуліновий агар, анаеробних бактерій роду *Clostridium* – залізовмісний сульфідний агар Вільсона-Блера. Посіви інкубували протягом 20–

24 годин у термостаті за температури 37 ± 1 °C. Кількісну оцінку колоній та інтерпретацію результатів проводили відповідно до стандарту ISO 7218.

Статистичну обробку даних виконували за допомогою пакета “Аналіз даних” Microsoft Office Excel 2019. Вибіркові параметри позначали так: М – вибіркове середнє, SD – стандартне відхилення. Зміни показників вважали статистично значущими за $P < 0,05$ (зокрема $P < 0,01$ і $P < 0,001$).

Результати та їх обговорення

Мікробіота тонкої кишки поросят раннього віку є динамічною екосистемою, яка відіграє ключову роль у становленні травної, імунної систем та метаболізму в цілому (Barszcz & Skomiał, 2011). У перші дні життя відбувається її швидке формування під впливом материнського молока, умов утримання та годівлі. Баланс між коменсальними та потенційно патогенними мікроорганізмами визначає ефективність засвоєння поживних речовин, розвиток імунних механізмів захисту та бар’єрну функцію кишечника (Choudhury et al., 2021). Проведеними дослідженнями встановлено, що на 9-й день життя кількість *E. coli* у дванадцятипалій кишці поросят контрольної групи становила $(1,46 \pm 0,81) \times 10^7$ КУО/см³ (рис. 1). До 21-добового віку цей показник знизився до $(5,80 \pm 3,03) \times 10^6$ КУО/см³, що відповідає зменшенню бактеріального обсіменіння на 60,3 % ($P < 0,05$). У 35-денному віці спостерігали подальше зниження кількості *E. coli* до $(2,92 \pm 2,01) \times 10^6$ КУО/см³, що на 49,7 % ($P < 0,05$) менше, ніж у 21-добовому віці, та на 80,0 % ($P < 0,01$) менше, ніж у 9-денному віці. У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *E. coli* у дванадцятипалій кишці становила $(1,71 \pm 0,60) \times 10^7$ КУО/см³, що було дещо вищим, ніж у контрольній групі. До 21-добового віку показник знизився до $(4,70 \pm 3,80) \times 10^6$ КУО/см³, що становить зменшення на 72,5 % ($P < 0,01$) відносно 9-добового віку. У 35-добовому віці рівень *E. coli* продовжував знижуватися і становив $(1,60 \pm 1,79) \times 10^6$ КУО/см³, що на 65,9 % ($P < 0,05$) менше, ніж у 21-добовому віці, та на 90,6 % ($P < 0,001$) менше, ніж на 9-й день життя. На 9-й день життя рівень *E. coli* у дванадцятипалій кишці поросят дослідної групи був вище на 17,1 %, ніж у контрольній групі, проте ця різниця була статистично недостовірною ($P > 0,05$). У 21-добовому віці кількість бактерій в експериментальній групі була меншою на 19,0 %, порівняно з контролем, однак ця різниця не досягала статистичної значущості. У 35-денному віці кількість *E. coli* у дванадцятипалій кишці поросят, які отримували ізотонічно-протеїнову суміш, була на 45,2 % меншою, ніж у контрольній групі, що свідчить про позитивний ефект застосування ІПС на зниження рівня *E. coli* у кишечнику. Аналогічні результати отримані в дослідженнях Sun et al. (2020), де введення пробіотичних сполук сприяло зниженню колонізації *E. coli* в товстому кишечнику (Sun et al., 2020).

На 9-й день життя кількість *Staphylococcus* spp. у дванадцятипалій кишці поросят контрольної групи становила $(2,32 \pm 2,14) \times 10^4$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник зріс до $(8,22 \pm 0,79) \times 10^5$ КУО/см³,

що відповідає збільшенню у 34 рази ($P < 0,001$). У 35-денному віці відбулося зниження рівня *Staphylococcus* spp. до $(4,96 \pm 3,58) \times 10^5$ КУО/см³, що на 39,7 % менше, ніж у 21-добовому віці, але все ще 20 разів ($P < 0,001$) вище, ніж у 9-денному віці що узгоджується з даними Zhang et al. (2024), які вказують на поступову стабілізацію мікробіоценозу після переходу на твердий корм (Yang et al., 2018).

У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *Staphylococcus* spp. у дванадцятипалій кишці становила $(1,52 \pm 0,49) \times 10^4$ КУО/см³, що було дещо нижчим, ніж у контрольній групі. До 21-добового віку цей показник зріс до $(6,84 \pm 4,81) \times 10^5$ КУО/см³, що становить збільшення у 44 рази ($P < 0,001$) порівняно з 9-добовим віком. У 35-добовому віці рівень *Staphylococcus* spp. залишався відносно стабільним і складав $(5,54 \pm 2,67) \times 10^5$ КУО/см³, що на 19,0 % ($P > 0,05$) більше, ніж у 21-добовому віці, та у 35 разів ($P < 0,001$) більше, ніж у 9-денному віці. На 9-й день життя рівень *Staphylococcus* spp. у дванадцятипалій кишці поросят дослідної групи був на 34,5 % ($P > 0,05$) нижчим, ніж у контрольній групі. У 21-добовому віці кількість бактерій в експериментальній групі була на 16,7 % ($P > 0,05$) меншою, ніж у контрольній. На 35-й день життя рівень *Staphylococcus* spp. у дванадцятипалій кишці поросят, які отримували ізотонічно-протеїнову суміш, був на 11,7 % вищим, ніж у контрольній групі, що вказує на відсутність суттєвого впливу ІПС на колонізацію *Staphylococcus* spp. у кишечнику. Це відповідає даним Holman et al. (2021), які виявили, що зміни в кишковому мікробіомі після відлучення можуть супроводжуватися збільшенням частки стафілококів через порушення бар’єрної функції кишечника (Holman et al., 2021).

На 9-й день життя поросят контрольної групи кількість *Enterococcus* spp. у порожній кишці становила $(3,41 \pm 2,90) \times 10^6$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник знизився до $(4,04 \pm 1,78) \times 10^5$ КУО/см³, що відповідає зменшенню на 88,1 % ($P < 0,001$). У 35-денному віці рівень *Enterococcus* spp. продовжував знижуватися і складав $(3,20 \pm 1,79) \times 10^4$ КУО/см³, що на 92,1 % ($P < 0,001$) менше, ніж у 21-добовому віці, та на 99,1 % ($P < 0,001$) менше, ніж у 9-денному віці. У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *Enterococcus* spp. у порожній кишці становила $(1,21 \pm 0,21) \times 10^6$ КУО/см³, що було в 2,8 рази нижче, ніж у контрольній групі. До 21-добового віку цей показник знизився до $(3,34 \pm 2,08) \times 10^5$ КУО/см³, що на 72,4 % ($P < 0,01$) менше, ніж у 9-добовому віці. У 35-денному віці спостерігалось зростання рівня *Enterococcus* spp. до $(2,14 \pm 4,39) \times 10^5$ КУО/см³, що у 5 разів ($P < 0,01$) більше, ніж у 21-добовому віці, але на 82,3 % нижче, ніж у 9-денному віці. Подібні результати зафіксували у дослідженнях Wang et al. (2019), які демонстрували значне зниження корисної мікрофлори під впливом стресу відлучення (Wang et al., 2019).

На 9-й день життя рівень *Enterococcus* spp. у порожній кишці поросят дослідної групи був на 64,5 % ($P < 0,05$) нижчим, ніж у поросят контрольної групи $(1,21 \pm 0,21) \times 10^6$ проти $(3,41 \pm 2,90) \times 10^6$ КУО/см³. У 21-добовому віці рівень *Enterococcus* spp. у поросят, які отримували ІПС, був на 17,3 % ($P > 0,05$) нижчим,

ніж у контрольній групі. На 35-й день життя рівень *Enterococcus* spp. у експериментальній групі був у 6,7 раза ($P < 0,01$) вищим, ніж у поросят контрольної групи, що свідчить про стимулюючий ефект ІПС на рівень *Enterococcus* spp. у кишковому мікробіоценозі поросят у пізніші вікові періоди. Це узгоджується з

даними, які підтвердили позитивний вплив білкових добавок на зростання корисної мікрофлори, сприяючи покращенню стану кишечника та підвищенню імунітету тварин (Moreno-Pérez et al., 2018; Boscaini et al., 2023).

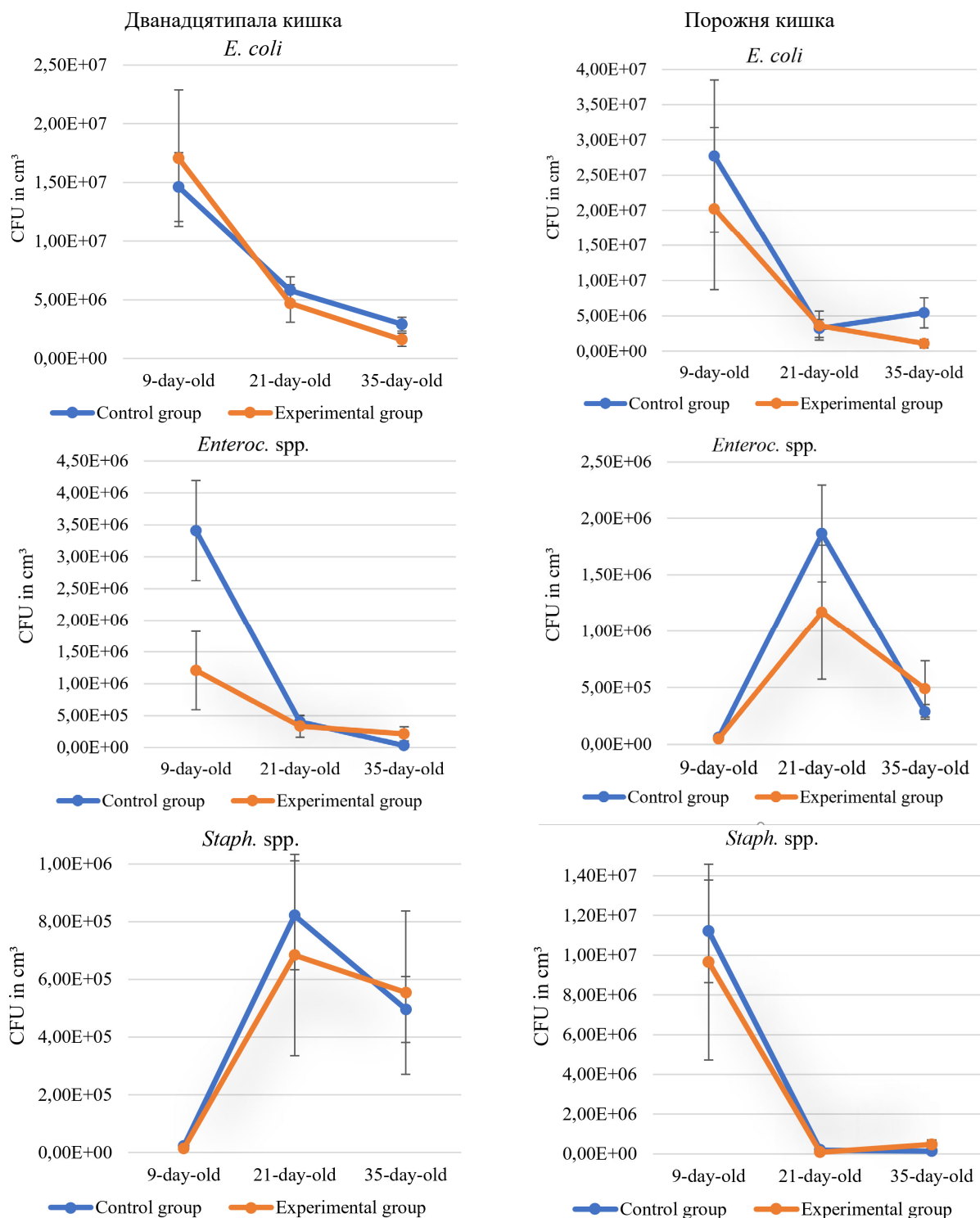


Рис. 1. Кількість *E. coli*, *Staphylococcus* spp. та *Enterococcus* spp. у дванадцятипалій і порожній кишці поросят (КЮ в 1 см³; М ± SD; n = 5).

Рівень колонізації *E. coli* у порожній кишці поросят змінювався з віком, демонструючи різні тенденції в контрольній та експериментальній групах. Так, на 9-

й день життя кількість *E. coli* у порожній кишці поросят контрольної групи становила $(2,77 \pm 1,83) \times 10^7$ КЮ/см³. До 21-добового віку цей показник зменшив-

ся до $(3,22 \pm 4,07) \times 10^6$ КУО/см³, що відповідає зниженню на 88,4 % ($P < 0,001$). У 35-денному віці рівень *E. coli* зріс до $(5,45 \pm 3,89) \times 10^6$ КУО/см³, що на 69,3 % ($P < 0,05$) більше, ніж у 21-добовому, але на 80,3 % ($P < 0,001$) менше, ніж у 9-денному віці. У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *E. coli* у порожній кишці становила $(2,02 \pm 0,99) \times 10^7$ КУО/см³, що було на 27,1 % нижче, ніж у контрольній групі. До 21-добового віку цей показник знизився до $(3,62 \pm 2,86) \times 10^6$ КУО/см³, що на 82,1 % ($P < 0,001$) менше, ніж у 9-добовому віці. У 35-денному віці рівень *E. coli* продовжував знижуватись і становив $(1,10 \pm 1,61) \times 10^6$ КУО/см³, що на 69,6 % ($P < 0,05$) менше, ніж у 21-добовому, та на 94,5 % ($P < 0,001$) нижче, ніж у 9-денному віці. На 9-й день життя рівень *E. coli* у порожній кишці поросят дослідної групи був на 27,1 % нижчим, ніж у контрольній групі. У 21-добовому віці рівень *E. coli* у поросят, які отримували ІПС, був на 12,4 % вищим, ніж у контрольній групі, а 35-й день життя на 79,8 % ($P < 0,05$) нижчим, ніж у контрольній групі, що свідчить про позитивний ефект ІПС на зниження колонізації *E. coli* у кишечнику поросят у пізній постнатальний період.

Колонізація *Staphylococcus* spp. у порожній кишці поросят зазнала значних змін з віком. Зокрема, на 9-й день життя кількість *Staphylococcus* spp. у порожній кишці поросят контрольної групи становила $(6,00 \pm 4,00) \times 10^4$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник зріс до $(1,86 \pm 2,37) \times 10^6$ КУО/см³, що відповідає збільшенню у 30 разів ($P < 0,001$). У 35-денному віці рівень *Staphylococcus* spp. знизився до $(2,85 \pm 3,22) \times 10^5$ КУО/см³, що на 84,7 % ($P < 0,05$) менше, ніж у 21-добовому віці, але у 3,8 раза ($P < 0,01$) більше, ніж у 9-добовому віці.

У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *Staphylococcus* spp. у порожній кишці становила $(4,80 \pm 5,22) \times 10^4$ КУО/см³, що було на 20,0 % нижче, ніж у контрольній групі. До 21-добового віку цей показник зріс до $(1,17 \pm 0,65) \times 10^6$ КУО/см³, що відповідає збільшенню у 23 рази ($P < 0,001$) порівняно з 9-добовим віком. У 35-денному віці рівень *Staphylococcus* spp. зріс до $(4,88 \pm 3,45) \times 10^5$ КУО/см³, що у 3,2 ($P < 0,01$) більше, ніж у 9-добовому віці, та у 3,1 раза ($P < 0,05$) менше, ніж у 21-добовому віці. Відмітимо, що на 9-й день життя рівень *Staphylococcus* spp. у порожній кишці поросят дослідної групи був на 20,0 % ($P > 0,05$) нижчим, ніж у контрольній групі. У 21-добовому віці рівень *Staphylococcus* spp. у поросят, які отримували ІПС, був на 37,1 % ($P > 0,05$) нижчим, ніж у контрольній групі. На 35-й день життя рівень *Staphylococcus* spp. у експериментальній групі був на 71,4 % ($P > 0,05$) вищим, ніж у контрольній групі, що може вказувати на можливий стимулюючий вплив ІПС на ріст *Staphylococcus* spp. у кишечковому мікробіоценозі поросят у пізніші вікові періоди.

Динаміка змін колонізації *Enterococcus* spp. у порожній кишці поросят вказує на суттєве зниження кількості цих бактерій з віком, з деякими відмінностями між контрольною та експериментальною групами. Так, на 9-й день життя кількість *Enterococcus* spp. у порожній кишці поросят контрольної групи становила $(1,12 \pm 0,12) \times 10^7$ КУО/см³. До 21-добового віку

цей показник значно знизився до $(1,96 \pm 0,14) \times 10^5$ КУО/см³, що відповідає зменшенню на 98,3% ($P < 0,001$). У 35-денному віці рівень *Enterococcus* spp. залишався на низькому рівні і складав $(1,42 \pm 0,97) \times 10^5$ КУО/см³, що на 27,6 % менше, ніж у 21-добовому віці, та на 98,7 % ($p < 0,001$) менше, ніж у 9-денному віці. У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *Enterococcus* spp. у порожній кишці становила $(9,65 \pm 7,33) \times 10^6$ КУО/см³, що було на 13,9 % нижче, ніж у контрольній групі. До 21-добового віку цей показник зменшився до $(8,20 \pm 9,09) \times 10^4$ КУО/см³, що відповідає зниженню на 99,1% ($p < 0,001$) порівняно з 9-добовим віком. У 35-денному віці рівень *Enterococcus* spp. зріс до $(4,70 \pm 8,57) \times 10^5$ КУО/см³, що у 4,7 раза ($P < 0,01$) більше, ніж у 21-добовому віці, але все ще на 95,8 % ($P < 0,001$) нижче, ніж у 9-денному віці. На 9-й день життя рівень *Enterococcus* spp. у порожній кишці поросят дослідної групи був на 13,9 % ($P > 0,05$) нижчим, ніж у контрольній групі. У 21-добовому віці рівень *Enterococcus* spp. у поросят, які отримували ІПС, був на 58,2 % нижчим, ніж у контрольній групі. На 35-й день життя рівень *Enterococcus* spp. у експериментальній групі був у 3,3 раза ($P < 0,05$) вищим, ніж у контрольній групі, що свідчить про можливий позитивний вплив ІПС на колонізацію *Enterococcus* spp. у пізній постнатальний період.

Колонізація *E. coli* у клубовій кишці поросят змінювалась залежно від віку, відображаючи особливості кишкового мікробіому під впливом ІПС (рис. 2). На 9-й день життя кількість *E. coli* у клубовій кишці поросят контрольної групи становила $(5,70 \pm 2,61) \times 10^7$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник зменшився до $(2,94 \pm 1,31) \times 10^7$ КУО/см³, що відповідає зниженню на 48,4 %. У 35-денному віці рівень *E. coli* продовжував зменшуватись і складав $(1,16 \pm 0,77) \times 10^7$ КУО/см³, що на 60,5 % менше, ніж у 21-добовому віці. У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *E. coli* у клубовій кишці становила $(6,14 \pm 3,03) \times 10^7$ КУО/см³, що було на 7,7% вищим, ніж у контрольній групі. До 21-добового віку цей показник зменшився до $(2,27 \pm 2,37) \times 10^7$ КУО/см³, що відповідає зниженню на 63,0 % порівняно з 9-добовим віком. У 35-денному віці рівень *E. coli* продовжував знижуватись і складав $(9,09 \pm 6,19) \times 10^6$ КУО/см³, що на 59,9% менше, ніж у 21-добовому віці, та на 85,2 % нижче, ніж у 9-добовому віці. На 9-й день життя рівень *E. coli* у клубовій кишці поросят дослідної групи був на 7,7 % вищим, ніж у контрольній групі. У 21-добовому віці рівень *E. coli* у поросят, які отримували ІПС, був на 22,8 % нижчим, а на 35-й день життя на 21,6 % нижчим, ніж у поросят контрольної групи $(9,09 \pm 6,19) \times 10^6$ проти $(1,16 \pm 0,77) \times 10^7$ КУО/см³, що може вказувати на потенційний позитивний вплив ІПС на зниження колонізації *E. coli* у клубовій кишці поросят у пізній постнатальний період.

На 9-й день життя кількість *Staphylococcus* spp. у клубовій кишці поросят контрольної групи становила $(2,60 \pm 0,54) \times 10^5$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник збільшився до $(1,34 \pm 0,14) \times 10^6$ КУО/см³, що відповідає зростанню у 4,2 раза ($P < 0,001$). У 35-денному віці рівень *Staphylococcus* spp. залишався на

відносно стабільному рівні та складав $(1,29 \pm 0,02) \times 10^6$ КУО/см³, що на 3,7 % ($P > 0,05$) менше, ніж у 21-добовому віці. У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *Staphylococcus* spp. у клубовій кишці становила $(1,86 \pm 1,89) \times 10^5$ КУО/см³, що було на 28,5 % ($P > 0,05$) нижче, ніж у контрольній групі. До 21-добового віку цей показник збільшився до $(1,86 \pm 1,92) \times 10^6$ КУО/см³, що відповідає зростанню у 9 разів порівняно з 9-добовим віком. У 35-денному віці рівень *Staphylococcus* spp. зріс до $(2,81 \pm 2,26) \times 10^6$ КУО/см³, що на 51,1 % більше, ніж у 21-добовому віці.

На 9-й день життя рівень *Staphylococcus* spp. у клубовій кишці поросят дослідної групи був на 28,5 % нижчим, ніж у контрольній. У 21-добовому віці рівень *Staphylococcus* spp. у поросят, які отримували ІПС, був на 38,8 % ($P > 0,05$) вищим, ніж у контрольній групі. На 35-й день життя рівень *Staphylococcus* spp. у експериментальній групі був на 117,8 % ($P < 0,05$) вищим, ніж у контрольній групі.

Дослідженнями встановлено, що на 9-й день життя кількість *Enterococcus* spp. у клубовій кишці поросят контрольної групи становила $(3,17 \pm 3,06) \times 10^6$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник значно знизився до $(5,56 \pm 2,22) \times 10^5$ КУО/см³, що відповідає зменшенню на 82,5 % ($P < 0,05$). У 35-денному віці рівень *Enterococcus* spp. зріс до $(1,04 \pm 0,59) \times 10^6$ КУО/см³, що на 87,0 % ($P < 0,05$) більше, ніж у 21-добовому віці, але на 67,2 % ($P < 0,05$) нижче, ніж у 9-добовому віці. У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *Enterococcus* spp. у клубовій кишці становила $(2,98 \pm 2,00) \times 10^6$ КУО/см³, що було на 6,0 % нижче, ніж у контрольній групі. До 21-добового віку цей показник значно знизився до $(3,10 \pm 2,97) \times 10^5$ КУО/см³, що відповідає зменшенню на 89,6 % порівняно з 9-добовим віком. У 35-денному віці рівень *Enterococcus* spp. зріс до $(8,27 \pm 6,26) \times 10^6$ КУО/см³, що у 26,7 рази ($P < 0,01$) більше, ніж у 21-добовому віці. Відмітимо, що на 9-й день життя рівень *Enterococcus* spp. у клубовій кишці поросят дослідної групи був на 6,0 % нижчим, ніж у контрольній групі. У 21-добовому віці рівень *Enterococcus* spp. у поросят, які отримували ІПС, був на 44,3% нижчим, ніж у контрольній групі. Тоді, як на 35-й день життя рівень *Enterococcus* spp. у експериментальній групі був у 7,9 рази ($P < 0,05$) вищим, ніж у контрольній групі, що може вказувати на стимулюючий ефект ІПС на колонізацію *Enterococcus* spp. у пізній постнатальний період.

Динаміка змін колонізації *E. coli* у сліпій кишці поросят демонструє значні вікові коливання, що можуть бути пов'язані з особливостями формування мікробіому під впливом ІПС. Проведеними дослідженнями встановлено, що на 9-й день життя кількість *E. coli* у сліпій кишці поросят контрольної групи становила $(1,78 \pm 0,45) \times 10^7$ КУО/см³. До 21-добового

віку цей показник значно зріс до $(4,50 \pm 2,28) \times 10^7$ КУО/см³, що відповідає збільшенню на 152,8 % ($P < 0,05$).

У 35-денному віці рівень *E. coli* знизився до $(1,67 \pm 0,60) \times 10^7$ КУО/см³, що на 62,9 % менше, ніж у 21-добовому віці. Це узгоджується з наявними даними, що відлучення часто супроводжується підвищенням частки *E. coli*, зокрема, її патогенних штамів, у кишковому мікробіомі через зміни в раціоні та стресові фактори (Molist et al., 2010). Цікаво, що деякі роботи повідомляють про зниження чисельності *Escherichia coli* після відлучення, що, ймовірно, пов'язано з інтенсивною конкуренцією за субстрати та зміною кислотно-лужного балансу у кишечнику (Zhang et al., 2024).

У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *E. coli* у сліпій кишці становила $(1,98 \pm 0,41) \times 10^7$ КУО/см³, що було на 11,2 % більшим, ніж у контрольній групі. До 21-добового віку цей показник зріс до $(3,96 \pm 2,23) \times 10^7$ КУО/см³, що відповідає збільшенню на 100,0 % ($P < 0,05$) порівняно з 9-добовим віком. У 35-денному віці рівень *E. coli* значно знизився до $(4,46 \pm 3,80) \times 10^6$ КУО/см³, що на 88,7 % ($P < 0,05$) менше, ніж у 21-добовому віці. На 9-й 21-й та 35-й день життя рівень *E. coli* у сліпій кишці поросят дослідної групи був відповідно на 11,2 % вищим, на 12,0 % нижчим, та на 73,3 % ($P < 0,01$) нижчим, ніж у контрольній групі, що може вказувати на позитивний вплив ІПС на зниження рівня *E. coli* у сліпій кишці поросят у пізній постнатальний період.

Встановлено, що на 9-й день життя кількість *Staphylococcus* spp. у сліпій кишці поросят контрольної групи становила $(4,38 \pm 2,34) \times 10^5$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник значно зріс до $(1,41 \pm 2,90) \times 10^7$ КУО/см³, що відповідає збільшенню у 31 раз. У 35-денному віці рівень *Staphylococcus* spp. різко знизився до $(5,96 \pm 0,56) \times 10^4$ КУО/см³, що на 99,6 % менше, ніж у 21-добовому віці. У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *Staphylococcus* spp. у сліпій кишці становила $(5,12 \pm 2,09) \times 10^5$ КУО/см³, що було на 16,9 % вищим, ніж у контрольній групі. До 21-добового віку цей показник значно зріс до $(1,80 \pm 0,82) \times 10^7$ КУО/см³, що відповідає збільшенню у 34 рази порівняно з 9-добовим віком. У 35-денному віці рівень *Staphylococcus* spp. знизився до $(2,62 \pm 1,60) \times 10^5$ КУО/см³, що на 98,5 % менше, ніж у 21-добовому віці. На 9-й день життя рівень *Staphylococcus* spp. у сліпій кишці поросят дослідної групи був на 16,9 % вищим, ніж у контрольній групі. У 21-добовому віці рівень у поросят, які отримували ІПС, був на 27,7 % ($P > 0,05$) вищим, а на 35-й день життя у 4,4 рази ($P < 0,05$) вищим, ніж у контрольній групі. Це узгоджується з дослідженнями (Sineke et al., 2021; Ocloo et al., 2024), які вказують, що певні функціональні добавки можуть сприяти зростанню стафілококів, зниження рівня патогенних їх штамів, без негативного впливу на загальний баланс мікробіому.

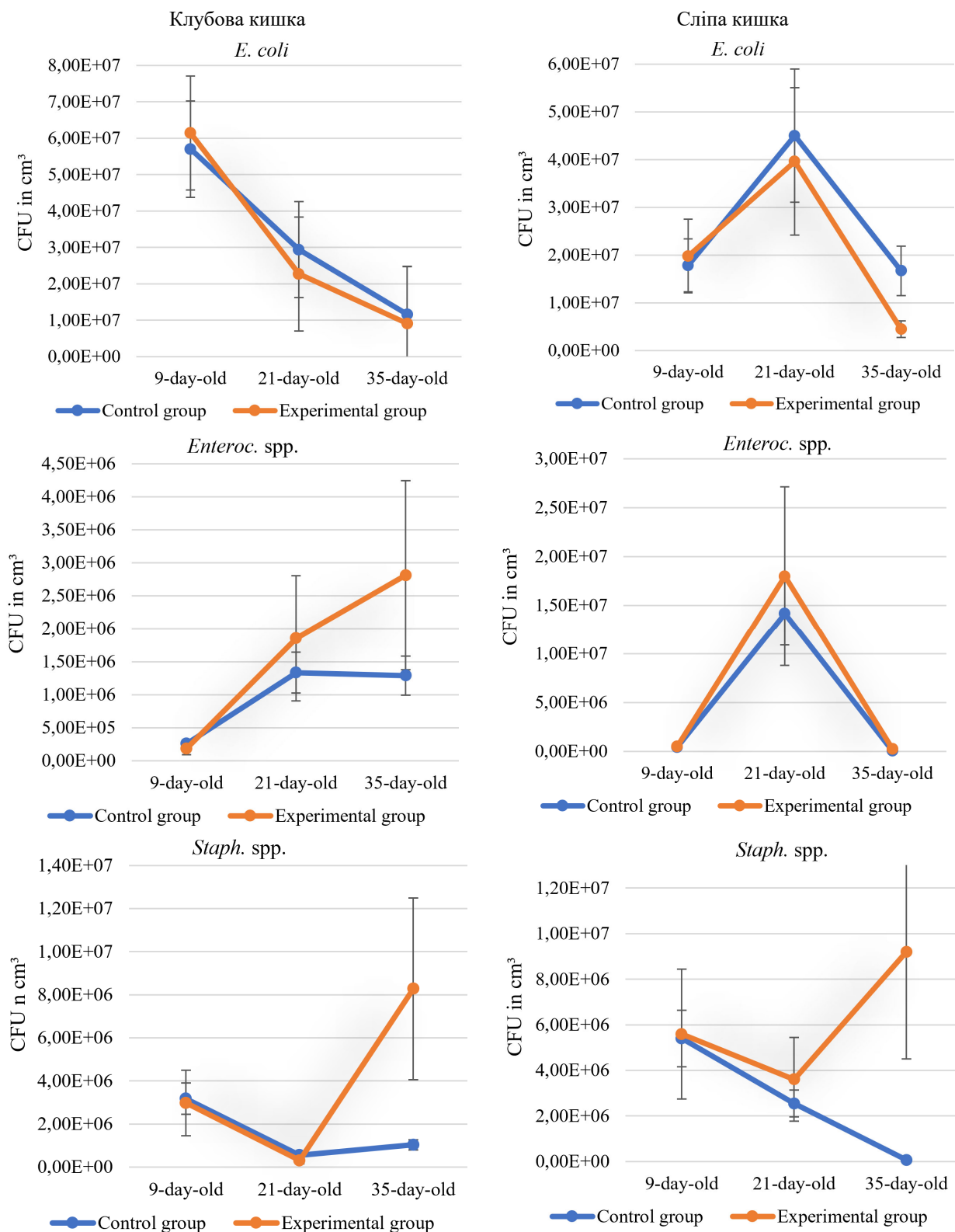


Рис. 2. Кількість *E. coli*, *Staphylococcus* spp. та *Enterococcus* spp. у клубовій та сліпій кишці поросят (КУО в 1 см³; М ± SD; n = 5)

Динаміка змін колонізації *Enterococcus* spp. у сліпій кишці поросят демонструє значне зменшення бактеріальної чисельності в контрольній групі упродовж вікового розвитку, тоді як у поросят, які отримували ПС, спостерігалася значне зростання популяції *Enterococcus* spp. у пізні періоди. На 9-й день життя кількість *Enterococcus* spp. у сліпій кишці поросят

контрольної групи становила $(5,40 \pm 3,64) \times 10^6$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник знизився до $(2,55 \pm 4,21) \times 10^6$ КУО/см³, що відповідає зменшенню на 52,8 %. У 35-денному віці рівень *Enterococcus* spp. різко знизився до $(6,60 \pm 0,59) \times 10^4$ КУО/см³, що на 97,4 % менше, ніж у 21-добовому віці. У поросят дослідної групи на 9-й день життя

кількість *Enterococcus* spp. у сліпій кишці становила $(5,59 \pm 4,44) \times 10^6$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник знизився до $(3,61 \pm 0,52) \times 10^6$ КУО/см³, що відповідає зменшенню на 35,4% порівняно з 9-добовим віком. Однак у 35-денному віці рівень *Enterococcus* spp. різко зріс до $(9,20 \pm 0,67) \times 10^6$ КУО/см³, що у 2,5 раза більше, ніж у 21-добовому віці. На 9-й день життя рівень *Enterococcus* spp. у сліпій кишці поросят дослідної групи був на 3,5 % вищим, ніж у контрольній групі. У 21-добовому віці рівень *Enterococcus* spp. у поросят, які отримували ІПС, був на 41,6 % вищим, ніж у контрольній групі. Тоді, як на 35-й день життя рівень *Enterococcus* spp. у експериментальній групі був у 139,4 раза ($P < 0,001$) вищим, ніж у поросят контрольної групи ($9,20 \pm 0,67$) $\times 10^6$ проти $(6,60 \pm 0,59) \times 10^4$ КУО/см³, що свідчить про виражений стимулюючий ефект ІПС на зростання *Enterococcus* spp. у сліпій кишці поросят у пізній постнатальний період. Це узгоджується з дослідженнями, які підтвердили, що застосування пробіотичних білкових добавок стимулює розмноження корисних бактерій (Latif et al., 2023), таких як *Enterococcus* spp., що сприяє покращенню стану кишечника.

Зміни мікробного складу з віком супроводжуються адаптацією кишкової екосистеми до змін у раціоні та середовищі, що забезпечує оптимізацію травлення, ефективне засвоєння поживних речовин та підвищену резистентність до інфекційних агентів (Wang et al., 2019). З віком у тварин відбувається поступове збільшення різноманітності кишкової мікробіоти, що є критично важливим для формування стійкості до патогенів та підтримки метаболічного здоров'я організму (Chen et al., 2017). Склад мікробіоти у дванадцятипалій, тонкій та сліпій кишках значно відрізняється між різними породами свиней (Yang et al., 2018), однак у клубовій та товстій кишках ці відмінності менш виражені, що свідчить про більш стабільний та універсальний мікробний склад у дистальних відділах кишечника, незалежно від породи.

Динаміка змін колонізації *E. coli* у ободовій кишці поросят демонструє зниження бактеріальної чисельності з віком, причому у поросят, які отримували ІПС, спостерігалось більш виражене зниження рівня *E. coli* у пізній постнатальний період (рис. 3). Зокрема, встановлено, що на 9-й день життя кількість *E. coli* у ободовій кишці поросят контрольної групи становила $(2,72 \pm 1,12) \times 10^7$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник збільшився до $(3,24 \pm 1,05) \times 10^7$ КУО/см³, що відповідає зростанню на 19,1 %. У 35-денному віці рівень *E. coli* знизився до $(1,04 \pm 0,56) \times 10^7$ КУО/см³, що на 67,9 % ($P < 0,01$) менше, ніж у 21-добовому віці. У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *E. coli* у ободовій кишці становила $(2,24 \pm 1,85) \times 10^7$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник збільшився до $(2,94 \pm 1,81) \times 10^7$ КУО/см³, що відповідає зростанню на 31,3 % порівняно з 9-добовим віком. У 35-денному віці рівень *E. coli* різко знизився до $(5,60 \pm 2,86) \times 10^6$ КУО/см³, що на 80,9% ($P < 0,05$) менше, ніж у 21-добовому віці. На 9-й день життя рівень *E. coli* у ободовій кишці поросят дослідної групи був на 17,6 % нижчим, ніж у контрольній групі. У 21-добовому віці рівень *E. coli* у поросят, які

отримували ІПС, був на 9,3 % нижчим, а на 35-й день життя на 46,2 % нижчим, ніж у контрольній групі, що свідчить про позитивний вплив ІПС на зниження рівня *E. coli* у ободовій кишці поросят у пізній постнатальний період.

Колонізація *Staphylococcus* spp. у ободовій кишці поросят на 9-й день життя становила $(5,72 \pm 4,77) \times 10^4$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник значно зріс до $(1,26 \pm 0,28) \times 10^6$ КУО/см³, що відповідає збільшенню у 21 раз ($P < 0,001$). У 35-денному віці рівень *Staphylococcus* spp. різко знизився до $(3,00 \pm 0,00) \times 10^4$ КУО/см³, що на 97,6 % ($P < 0,001$) менше, ніж у 21-добовому віці. У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *Staphylococcus* spp. у ободовій кишці становила $(5,40 \pm 1,14) \times 10^4$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник значно зріс до $(3,68 \pm 2,78) \times 10^6$ КУО/см³, що відповідає збільшенню у 67,2 раза ($P < 0,001$) порівняно з 9-добовим віком. У 35-денному віці рівень *Staphylococcus* spp. знизився до $(2,70 \pm 2,05) \times 10^5$ КУО/см³, що на 92,7 % менше, ніж у 21-добовому віці, але більше, ніж у 9-добовому віці. На 9-й, 21-й та 35-й день життя рівень *Staphylococcus* spp. у ободовій кишці поросят дослідної групи був відповідно на 5,6 % ($P > 0,05$) нижчим, у 2,9 раза ($P < 0,01$) та у 9,0 разів ($P < 0,001$) вищим, ніж у контрольній групі, що може свідчити про стимулюючий вплив ІПС на ріст *Staphylococcus* spp. у пізній постнатальний період. Аналогічні результати продемонстровані й інші дослідники, які встановили, що білкові добавки можуть сприяти колонізації стафілококів без негативного впливу на загальний баланс кишкової мікрофлори (Kärlund et al., 2019; Yang et al., 2020; Feng et al., 2022).

Кількість *Enterococcus* spp. у ободовій кишці поросят контрольної групи на 9-й день життя становила $(5,39 \pm 5,46) \times 10^6$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник значно знизився до $(7,58 \pm 5,01) \times 10^5$ КУО/см³, що відповідає зменшенню на 85,9% ($P < 0,05$). У 35-денному віці рівень *Enterococcus* spp. різко знизився до $(2,00 \pm 0,00) \times 10^4$ КУО/см³, що на 97,4 % ($P < 0,05$) менше, ніж у 21-добовому віці. У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *Enterococcus* spp. у ободовій кишці становила $(4,12 \pm 3,10) \times 10^6$ КУО/см³, що було на 23,6% нижче, ніж у контрольній групі. До 21-добового віку цей показник значно знизився до $(4,88 \pm 4,41) \times 10^5$ КУО/см³, що відповідає зменшенню на 88,2 % ($P < 0,05$) порівняно з 9-добовим віком. Однак у 35-денному віці рівень *Enterococcus* spp. різко зріс до $(9,54 \pm 4,06) \times 10^6$ КУО/см³, що у 19,6 раза ($P < 0,001$) більше, ніж у 21-добовому віці.

На 9-й день життя рівень *Enterococcus* spp. у ободовій кишці поросят дослідної групи був на 23,6% нижчим, ніж у контрольній групі. У 21-добовому віці рівень *Enterococcus* spp. у поросят, які отримували ІПС, був на 35,6 % нижчим, ніж у контрольній групі. А на 35-й день життя рівень *Enterococcus* spp. у експериментальній групі був у 477 разів ($P < 0,001$) вищим, ніж у контрольній групі, що свідчить про виражений стимулюючий ефект ІПС на зростання *Enterococcus* spp. у ободовій кишці поросят у пізній постнатальний період.

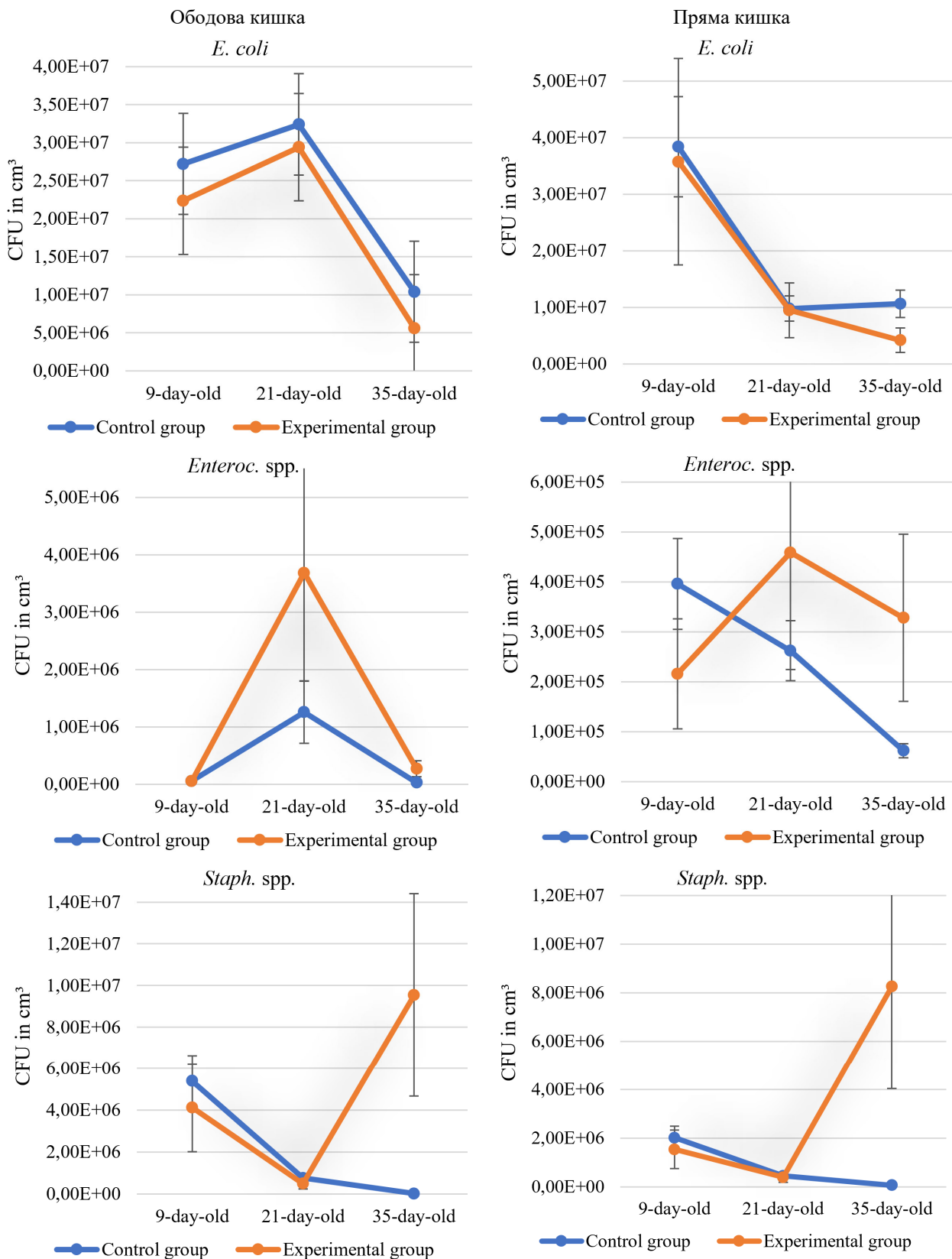


Рис. 3. Кількість *E. coli*, *Staphylococcus* spp. та *Enterococcus* spp. у ободовій та прямій кишці поросят (КУО в 1 см³; М ± SD; n = 5)

Динаміка змін колонізації *E. coli* у прямій кишці поросят демонструє зниження чисельності бактерій з віком, особливо у поросят, які отримували ІПС, що може свідчити про модифікацію кишкової мікробіоти

під впливом досліджуваного препарату. На 9-й день життя кількість *E. coli* у прямій кишці поросят контрольної групи становила $(3,84 \pm 2,75) \times 10^7$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник зменшився до

$(9,80 \pm 3,11) \times 10^6$ КУО/см³, що відповідає зниженню на 74,5 % ($P < 0,05$). У 35-денному віці рівень *E. coli* дещо підвищився до $(1,06 \pm 0,59) \times 10^7$ КУО/см³, що на 8,2 % більше, ніж у 21-добовому віці. У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *E. coli* у прямій кишці становила $(3,58 \pm 1,46) \times 10^7$ КУО/см³, що було на 6,8 % нижче, ніж у контрольній групі. До 21-добового віку цей показник зменшився до $(9,50 \pm 9,01) \times 10^6$ КУО/см³, що відповідає зниженню на 73,5% порівняно з 9-добовим віком. У 35-денному віці рівень *E. coli* продовжував знижуватися і складав $(4,20 \pm 1,87) \times 10^6$ КУО/см³, що на 55,8 % ($P < 0,05$) менше, ніж у 21-добовому віці. На 9-й день життя рівень *E. coli* у прямій кишці поросят дослідної групи був на 6,8 % нижчим, ніж у контрольній групі. У 21-добовому віці рівень *E. coli* у поросят, які отримували ІПС, був на 3,1 % нижчим, ніж у контрольній групі, а на 35-й день життя рівень *E. coli* у експериментальній групі був на 60,4 % ($P < 0,05$) нижчим, ніж у контрольній групі, що свідчить про позитивний ефект ІПС на зниження колонізації *E. coli* у прямій кишці поросят у пізній постнатальний період. Подібні результати отримані й іншими експериментаторами (Bonetti et al., 2020; Dubreuil, 2020), які встановили, що застосування біологічно активних сполук сприяє зниженню рівня *E. coli* у товстому кишечнику поросят. Це вказує на антагоністичний ефект ІПС щодо *E. coli* та його потенційний захисний вплив на кишковий мікробіом.

На 9-й день життя кількість *Staphylococcus* spp. у прямій кишці поросят контрольної групи становила $(3,96 \pm 3,02) \times 10^5$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник зменшився до $(2,62 \pm 1,48) \times 10^5$ КУО/см³, що відповідає зниженню на 33,8 %. У 35-денному віці рівень *Staphylococcus* spp. продовжував знижуватися і складав $(6,20 \pm 2,86) \times 10^4$ КУО/см³, що на 76,3 % ($P < 0,001$) менше, ніж у 21-добовому віці, та на 84,3 % нижче, ніж у 9-добовому віці. У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *Staphylococcus* spp. у прямій кишці становила $(2,16 \pm 1,30) \times 10^5$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник зріс до $(4,59 \pm 5,42) \times 10^5$ КУО/см³, що відповідає збільшенню на 112,5 % ($P < 0,05$) порівняно з 9-добовим віком. У 35-денному віці рівень *Staphylococcus* spp. у експериментальній групі складав $(3,28 \pm 2,22) \times 10^5$ КУО/см³, що на 28,5 % менше, ніж у 21-добовому віці.

На 9-й день життя рівень *Staphylococcus* spp. у прямій кишці поросят дослідної групи був на 45,5 % нижчим, ніж у поросят контрольної групи $(2,16 \pm 1,30) \times 10^5$ проти $(3,96 \pm 3,02) \times 10^5$ КУО/см³). У 21-добовому віці рівень *Staphylococcus* spp. у поросят, які отримували ІПС, був на 75,2 % вищим, ніж у контрольній групі. На 35-й день життя рівень *Staphylococcus* spp. у експериментальній групі був у 5,3 раза ($P < 0,05$) вищим, ніж у контрольній групі.

Динаміка змін колонізації *Enterococcus* spp. у прямій кишці поросят демонструє значне зниження чисельності цих бактерій у поросят контрольної групи з віком, тоді як у тварин, які отримували ІПС, у пізній постнатальний період спостерігали виражений ріст популяції *Enterococcus* spp. На 9-й день життя кількість *Enterococcus* spp. у прямій кишці поросят контрольної групи становила $(2,02 \pm 1,28) \times 10^6$ КУО/см³.

До 21-добового віку цей показник значно зменшився до $(4,48 \pm 3,31) \times 10^5$ КУО/см³, що відповідає зниженню на 77,8 %. У 35-денному віці рівень *Enterococcus* spp. продовжував знижуватися і складав $(7,00 \pm 6,16) \times 10^4$ КУО/см³, що на 84,4 % ($P < 0,05$) менше, ніж у 21-добовому віці. У поросят дослідної групи на 9-й день життя кількість *Enterococcus* spp. у прямій кишці становила $(1,54 \pm 0,28) \times 10^6$ КУО/см³. До 21-добового віку цей показник знизився до $(3,96 \pm 4,32) \times 10^5$ КУО/см³, що відповідає зменшенню на 74,3% ($P < 0,001$) порівняно з 9-добовим віком. Однак у 35-денному віці рівень *Enterococcus* spp. різко зріс до $(8,25 \pm 1,24) \times 10^6$ КУО/см³, що у 20,8 раза ($P < 0,001$) більше, ніж у 21-добовому віці. На 9-й день життя рівень *Enterococcus* spp. у прямій кишці поросят дослідної групи був на 23,8 % ($P > 0,05$) нижчим, ніж у поросят контрольної групи $((1,54 \pm 0,28) \times 10^6$ проти $(2,02 \pm 1,28) \times 10^6$ КУО/см³). У 21-добовому віці рівень *Enterococcus* spp. у поросят, які отримували ІПС, був на 11,6 % ($P > 0,05$) нижчим, ніж у поросят контрольної групи $((3,96 \pm 4,32) \times 10^5$ проти $(4,48 \pm 3,31) \times 10^5$ КУО/см³). На 35-й день життя рівень *Enterococcus* spp. у експериментальній групі був у 118 разів ($P < 0,001$) вищим, ніж у поросят контрольної групи $(8,25 \pm 1,24) \times 10^6$ проти $(7,00 \pm 6,16) \times 10^4$ КУО/см³), що вказує на виражений стимулюючий ефект ІПС на колонізацію *Enterococcus* spp. у прямій кишці поросят у пізній постнатальний період. Це відповідає результатам Upadhaya & Kim (2021), які продемонстрували, що стрес відлучення суттєво впливає на рівень корисної мікрофлори, включаючи ентерококи.

Період відлучення поросят є критичною фазою їх розвитку, що супроводжується значними змінами в кишковій мікробіоті, травленні та імунній відповіді організму. Зокрема, відлучення поросят у віці 14 днів призводить до суттєвих порушень морфології та бар'єрної функції кишечника, що проявляється атрофією ворсинок, зниженням висоти крипт, порушенням міжклітинних з'єднань та підвищеною проникністю слизової оболонки. Ці зміни є наслідком різкої зміни раціону, стресу та порушення мікробного балансу, що негативно впливає на всмоктування поживних речовин і загальну резистентність організму (Wang et al., 2016). Одним із головних наслідків цього процесу є післявідлучна діарея (PWD), яка пов'язана з порушенням мікробного балансу, зменшенням резистентності кишкового бар'єру та підвищеною вразливістю до патогенних бактерій (Michiels et al., 2023). Різка зміна раціону – перехід від молока до твердого корму – призводить до стресової реакції кишечника та швидкої перебудови мікробного складу. Дослідження показують, що кількість облигатних анаеробів (*Bacteroides*, *Clostridium*, *Prevotella*) значно зростає, тоді як корисні бактерії, зокрема *Lactobacillus*, зменшуються (Inoue et al., 2020). Це супроводжується загальним зниженням мікробного різноманіття, що є важливим індикатором дисбіозу та потенційних порушень функцій кишечника (Gresse et al., 2017). Значні зміни відбуваються й у співвідношенні патогенних та умовно-патогенних бактерій. У низці досліджень відзначено збільшення чисельності *Clostridium* spp., *Prevotella* spp. і представників родини *Proteobacteri-*

aseae, що може спричинити порушення метаболічних процесів і запальні реакції (Wang et al., 2019).

Отже, аналіз мікробіому поросят у поросят контрольної групи показав значні зміни після відлучення, що супроводжувалися зниженням рівня *E. coli* та *Enterococcus* spp. і коливаннями рівня *Staphylococcus* spp. У поросят, які отримували ІПС, спостерігали стабільніше зниження *E. coli*, а також суттєве зростання рівня *Enterococcus* spp., що вказує на потенціал ІПС як засобу підтримки кишкового мікробіоценозу.

Висновки

Період відлучення поросят є ключовим для змін мікробного складу травного тракту, зокрема концентрації *Escherichia coli*. Після відлучення спостерігалось значне зниження рівня *E. coli* у дванадцятипалій, сліпій та ободовій кишках ($P < 0,01$), а використання ізотонічно-протеїнової суміші (ІПС) посилює цей ефект, додатково зменшуючи чисельність *E. coli*, особливо у сліпій кишці (на 73,3 %; $P < 0,01$) та дванадцятипалій кишці (на 45,2 %; $P < 0,01$). Динаміка чисельності *Staphylococcus* spp. характеризується різким зростанням (у 30 разів; $P < 0,001$) до 21-го дня життя з подальшим зниженням після відлучення (на 84,7–99,6 %; $P < 0,05–0,001$). Застосування ІПС призводило до того, що на 35-й день чисельність *Staphylococcus* spp. у сліпій кишці була в 4,4 раза вищою ($P < 0,05$) порівняно з контролем. Відлучення поросят супроводжувалося значним зменшенням рівня *Enterococcus* spp. у різних відділах кишечника (на 97,4–98,7 %; $P < 0,001$). Водночас ІПС спричиняла суттєве зростання чисельності цих бактерій: у порожній кишці – у 6,7 раза ($P < 0,01$), у сліпій кишці – у 139,4 раза ($P < 0,001$), в ободовій кишці – у 477 разів ($P < 0,001$). ІПС сприяє нормалізації мікробіоценозу кишечника та запобігає дисбіотичним порушенням після відлучення.

Подальші дослідження пов'язані з оцінюванням стійкості позитивних змін мікробіоценозу, їх впливу на виробничі показники та здоров'я тварин у подальші періоди розвитку.

Відомості про конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

References

- Barszcz, M., & Skomiał, J. (2011). The development of the small intestine of piglets-chosen aspects. *Journal of animal and feed sciences*, 20(1), 3–15. DOI: 10.22358/jafs/66152/2011.
- Bonetti, A., Tugnoli, B., Rossi, B., Giovagnoni, G., Piva, A. & Grilli, E. (2020). Nature-Identical Compounds and Organic Acids Reduce *E. coli* K88 Growth and Virulence Gene Expression In Vitro. *Toxins*, 12(8), 468. DOI: 10.3390/toxins12080468.
- Boscaini, S., Skuse, P., Nilaweera, K. N., Cryan, J. F., & Cotter, P. D. (2023). The 'Whey' to good health: Whey protein and its beneficial effect on metabolism, gut microbiota and mental health. *Trends in Food Science & Technology*, 133, 1–14. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.12.009.
- Buzoianu, S. G., Firth, A. M., Putrino, C. & Vannucci, F. (2020). Early-life intake of an isotonic protein drink improves the gut microbial profile of piglets. *Animals*, 10(5), 879. DOI: 10.3390/ani10050879.
- Campbell, J. M., Crenshaw, J. D., & Polo, J. (2013). The biological stress of early weaned piglets. *Journal of animal science and biotechnology*, 4(1), 19. DOI: 10.1186/2049-1891-4-19.
- Chen, L., Xu, Y., Chen, X., Fang, C., Zhao, L. & Chen, F. (2017). The maturing development of gut microbiota in commercial piglets during the weaning transition. *Frontiers in microbiology*, 8, 688. DOI: 10.3389/fmicb.2017.01688.
- Choudhury, R., Middelkoop, A., Souza, J. G. De, Veen, L. A. Van, Gerrits, W. J. J., Kemp, B., Bolhuis, J. E., & Kleerebezem, M. (2021). Impact of early-life feeding on local intestinal microbiota and digestive system development in piglets. *Scientific Reports*, 11(1), 4213. DOI: 10.1038/s41598-021-83756-2.
- Clarke, N. J., Tomlinson, A. J., Schomburg, G., & Naylor, S. (1997). Capillary isoelectric focusing of physiologically derived proteins with on-line desalting of isotonic salt concentrations. *Analytical chemistry*, 69(14), 2786–2792. DOI: 10.1021/ac961283+.
- Dubreuil, J. D. (2020). Fruit extracts to control pathogenic *Escherichia coli*: A sweet solution. *Heliyon*, 6(2), e03410. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e03410.
- Feng, C., Tian, L., Hong, H., Wang, Q., Zhan, X., Luo, Y., & Tan, Y. (2022). In vitro gut fermentation of whey protein hydrolysate: an evaluation of its potential modulation on infant gut microbiome. *Nutrients*, 14(7), 1374. DOI: 10.3390/nu14071374.
- Gieryńska, M., Szulc-Dąbrowska, L., Struzik, J., Mielcarska, M. B., & Gregorczyk-Zboroch, K. P. (2022). Integrity of the intestinal barrier: the involvement of epithelial cells and microbiota—a mutual relationship. *Animals*, 12(2), 145. DOI: 10.3390/ani12020145.
- Gresse, R., Chaucheyras-Durand, F., Fleury, M. A., Van de Wiele, T., Forano, E., & Blanquet-Diot, S. (2017). Gut Microbiota Dysbiosis in Postweaning Piglets: Understanding the Keys to Health. *Trends in microbiology*, 25(10), 851–873. DOI: 10.1016/j.tim.2017.05.004.
- Holman, D. B., Gzyl, K. E., Mou, K. T., & Allen, H. K. (2021). Weaning age and its effect on the development of the swine gut microbiome and resistance. *Msystems*, 6(6), e00682–21. DOI: 10.1128/msystems.00682-21.
- Inoue, R., Tsukahara, T., Nakanishi, N., & Ushida, K. (2020). Development of the intestinal microbiota in the piglet. *The Journal of general and applied microbiology*, 51(4), 257–265. DOI: 10.2323/jgam.51.257.
- Jumaa, M., & Müller, B. W. (1999). In vitro investigation of the effect of various isotonic substances in parenteral emulsions on human erythrocytes. *European journal of pharmaceutical sciences*, 9(2), 207–212. DOI: 10.1016/S0928-0987(99)00059-7.
- Kårlund, A., Gómez-Gallego, C., Turpeinen, A. M., Palo-oja, O.-M., El-Nezami, H., & Kolehmainen, M. (2019). Protein Supplements and Their Relation with Nutrition, Microbiota Composition and Health: Is

- More Protein Always Better for Sportspeople. *Nutrients*, 11(4), 829. DOI: 10.3390/nu11040829.
- Latif, A., Shehzad, A., Niazi, S., Zahid, A., Ashraf, W., Iqbal, M. W., Rehman, A., Riaz, T., Aadil, R. M., Khan, I. M., Özogul, F., Rocha, J. M., Esatbeyoglu, T., & Korma, S. A. (2023). Probiotics: mechanism of action, health benefits and their application in food industries. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1216674. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1216674.
- Masiuk, D. M., Kokariyev, A. V., Bal, R. & Nedzvetsky, V. S. (2022). The isotonic protein mixture suppresses Porcine Epidemic Diarrhea Virus excretion and initiates intestinal defensive response. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 10(2), 23–8. DOI: 10.32819/2022.10009.
- Michiels, J., Truffin, D., Majdeddin, M., Poucke, M. Van, Liefferinge, E. Van, Noten, N. Van, Vandaele, M., Kerschaver, C. Van, Degroote, J., Peelman, L. & Linder, P. (2023). Gluconic acid improves performance of newly weaned piglets associated with alterations in gut microbiome and fermentation. *Porcine Health Management*, 9(1), 1–18. DOI: 10.1186/s40813-023-00305-1.
- Modina, S. C., Polito, U., Rossi, R., Corino, C. & Giancamillo, A. Di. (2019). Nutritional regulation of gut barrier integrity in weaning piglets. *Animals*, 9(12), 1045. DOI: 10.3390/ani9121045.
- Molist, F., Gómez de Segura, A., Pérez, J. F., Bhandari, S. K., Krause, D. O., & Nyachoti, C. M. (2010). Effect of wheat bran on the health and performance of weaned pigs challenged with *Escherichia coli* K88+. *Livestock Science*, 133(1), 214–217. DOI: 10.1016/j.livsci.2010.06.067.
- Moreno-Pérez, D., Bressa, C., Bailén, M., Hamed-Bousdar, S., Naclerio, F., Carmona, M., Pérez, M., González-Soltero, R., Montalvo-Lominchar, M. G., Carabaña, C. & Larrosa, M. (2018). Effect of a Protein Supplement on the Gut Microbiota of Endurance Athletes: A Randomized, Controlled, Double-Blind Pilot Study. *Nutrients*, 10(3), 337. DOI: 10.3390/nu10030337.
- Ocloo, R., Newton-Foot, M., Chabuka, L., Ziebuhr, W. & Whitelaw, A. C. (2024). Epidemiology and antibiotic resistance of staphylococci on commercial pig farms in Cape Town, South Africa. *Scientific Reports*, 14(1), 19747. DOI: 10.1038/s41598-024-70183-2.
- Sineke, N., Asante, J., Amoako, D. G., Abia, A. L. K., Perrett, K., Bester, L. A. & Essack, S. Y. (2021). *Staphylococcus aureus* in Intensive Pig Production in South Africa: Antibiotic Resistance, Virulence Determinants, and Clonality. *Pathogens*, 10, 317. DOI: 10.3390/pathogens10030317.
- Sun, L., Wang, X., Saredy, J., Yuan, Z., Yang, X. & Wang, H. (2020). Innate-adaptive immunity interplay and redox regulation in immune response. *Redox Biology*, 37, 101759. DOI: 10.1016/j.redox.2020.101759.
- Sun, X., Cui, Y., Su, Y., Gao, Z., Diao, X., Li, J., Zhu, X., Li, D., Li, Z., Wang, C., & Shi, Y. (2021). Dietary Fiber Ameliorates Lipopolysaccharide-Induced Intestinal Barrier Function Damage in Piglets by Modulation of Intestinal Microbiome. *mSystems*, 6(2), e01374-20. DOI: 10.1128/mSystems.01374-20.
- Tommaso, N. Di, Gasbarrini, A., & Ponziani, F. R. (2021). Intestinal barrier in human health and disease. *International journal of environmental research and public health*, 18(23), 12836. DOI: 10.3390/ijerph182312836.
- Upadhaya, S.-D. & Kim, I.-H. (2021). The Impact of Weaning Stress on Gut Health and the Mechanistic Aspects of Several Feed Additives Contributing to Improved Gut Health Function in Weanling Piglets—A Review. *Animals (Basel)*, 11(8), 2418. DOI: 10.3390/ani11082418.
- Wang, J., Zeng, L., Tan, B., Li, G., Huang, B., Xiong, X., Li, F., Kong, X., Liu, G. & Yin, Y. (2016). Developmental changes in intercellular junctions and Kv channels in the intestine of piglets during the suckling and post-weaning periods. *Journal of animal science and biotechnology*, 7, 1–10. DOI: 10.1186/s40104-016-0063-2.
- Wang, X., Tsai, T., Deng, F., Wei, X., Chai, J., Knapp, J., Apple, J., Maxwell, C. V., Lee, J. A., Li, Y., & Zhao, J. (2019). Longitudinal investigation of the swine gut microbiome from birth to market reveals stage and growth performance associated bacteria. *Microbiome*, 7(1), 109. DOI: 10.1186/s40168-019-0721-7.
- Wang, X., Wang, W., Wang, L., Yu, C., Zhang, G., Zhu, H., Wang, C., Zhao, S., Hu, C.-A. A. & Liu, Y. (2019). Lentinan modulates intestinal microbiota and enhances barrier integrity in a piglet model challenged with lipopolysaccharide. *Food & function*, 10(1), 479–489. DOI: 10.1039/C8FO02438C.
- Yang, H., Xiang, Y., Robinson, K., Wang, J., Zhang, G., Zhao, J., & Xiao, Y. (2018). Gut Microbiota Is a Major Contributor to Adiposity in Pigs. *Frontiers in microbiology*, 9, 3045. DOI: 10.3389/fmicb.2018.03045.
- Yang, Q., Liang, Q., Balakrishnan, B., Belobrajdic, D. P., Feng, Q. J., & Zhang, W. (2020). Role of Dietary Nutrients in the Modulation of Gut Microbiota: A Narrative Review. *Nutrients*, 12(2), 381. DOI: 10.3390/nu12020381.
- Zhang, J., Chen, Y., Guo, X., Li, X., Zhang, R., Wang, M., Zhu, W., & Yu, K. (2024). The gut microbial metabolite indole-3-aldehyde alleviates impaired intestinal development by promoting intestinal stem cell expansion in weaned piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 15(1), 1–16. DOI: 10.1186/s40104-024-01111-7.