

УДК 636.4.084.4:[636.087.6+636.087.7]:591.5
doi 10.37143/2786-7730-2023-1(79)05

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО-ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ ТВАРИННИЦТВА В НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ (оглядова)

С. Г. Зінов'єв, М. Л. Пушкіна

Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН
вул. Шведська Могила, 1, м. Полтава, Україна, 36013

Мета. Дослідити вплив різноманітних факторів на викиди сполук азоту та фосфору у навколишнє середовище для оптимізації технологічного менеджменту та перспективного планування досліджень у свинарстві, а також підвищення ефективності використання поживних речовин свиньями при їх груповому утриманні. **Методи.** Загальнонаукові (типологізація, класифікація, аналіз та синтез, абстрактно-логічний) та міждисциплінарні (структурно-системний підхід), історичні (проблемно-хронологічний, описовий, джерелознавчий та історичний аналіз та синтез), за їх допомогою систематизовано наукові данні щодо технологічного менеджменту зменшення екологічно-шкідливих викидів тваринництва в навколишнє середовище. **Результати.** Обговорюються стратегії управління, що використовуються в науці та на практиці, які пов'язані з підвищенням ефективності використання азоту та фосфору у свинарстві, а саме: генетичний відбір, кастрація, забійна вага, точна годівля та сучасні системи збору та переробки гною. Оскільки раціон помітно впливає на можливі втрати азоту і фосфору, його необхідно враховувати при оцінці стратегій управління. Кількість виділеного азоту залежить від кількості поглиненого азоту, кількості абсорбованого азоту, балансу амінокислот у раціоні та потреби тварини в азоті та амінокислотах. Для тварин, що утримуються групами, потрібно використовувати багатофазні системи годівлі, оскільки щоденна багатофазна годівля, адаптована до потреб окремої тварини в амінокислотах та інших поживних речовинах, ймовірно, є найбільш ефективною. Питоме споживання амінокислот має бути збалансоване за допомогою концепції ідеального білку. При кращому знанні потреб окремих тварин та комерційній доступності певних амінокислот загальний рівень сирого протеїну в раціоні може бути знижений у певних межах. Проте потрібні подальші дослідження мінімального рівня сирого протеїну, що забезпечує максимальну продуктивність. Правильне використання кормових добавок та ферментних препаратів у раціонах сприяє зниженню викидів азоту та фосфору. Комбінуючи оптимальну годівлю та управління, у найближчому майбутньому може бути досягнута ефективність

Зінов'єв Сергій Георгійович, к. с.-г. н., старший науковий співробітник, пров. н. с., лаб. годівлі, фізіології та здоров'я тварин,

e-mail: kvazimodo2077@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3757-3860>

Пушкіна Марія Львівна, м. н. с., лаб. годівлі, фізіології та здоров'я тварин,

e-mail: azulaniakris@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5705-2977>

засвоєння азоту, що наближається до 60%. Перспективні системи збору та переробки гною сприяють ще більшому зниженню викидів у навколишнє середовище. **Висновки.** Використання ефективних систем управління та точної годівлі у свинарстві сприяє підвищенню засвоєння азоту та фосфору із корму відповідно зниженню викидів азоту та фосфору у навколишнє середовище

Ключові слова: викиди, свині, азот, фосфор, екскреція, амінокислоти, генетичний відбір, кастрація, забійна вага, вік тварин

Посилатися на статтю так:

БІБЛІОГРАФІЯ за ДСТУ: Зінов'єв С. Г., Пушкіна М. Л. Технологічний менеджмент зменшення екологічно-шкідливих викидів тваринництва в навколишнє середовище (оглядова). *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2023. Вип. 1(79). С. 68–102. doi: 10.37143/2786-7730-2023-1(79)05

REFERENCIS за APA style: Zinov'iev, S. H., & Pushkina, M. L. (2023). Tekhnolohichnyi menedzhment zmeshennia ekolohichno-shkidlyvykh vykydiv tvarynnytstva v navkolyshnie seredovyshche (ohliadova) [Technological management of reduction of environmentally harmful emissions of livestock into the environment (review)]. *Svynarstvo i ahropromyslove vyrobnytstvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 1(79), 68–102 [in Ukrainian]. doi: 10.37143/2786-7730-2023-1(79)05

Вступ. Тваринництво, як і будь-яка інша людська діяльність, сприяє виділенню в атмосферу низки викидів, переважно у вигляді газів (як поллютантів, так і парникових газів). «Директива про максимальні значення викидів» [1], встановлює зобов'язання щодо скорочення викидів аміаку, які мають бути досягнуті до 2030 року. Однак замість того, щоб зменшуватись, викиди за останні кілька років залишалися на одному рівні або навіть збільшувалися, тому необхідно застосовувати більше зусиль зі скорочення, особливо у свинарстві.

Індустріалізація тваринництва, впровадження у виробництво сучасних технологій дають широкі можливості для зростання сільськогосподарського виробництва, підвищення його стійкості, зниження собівартості, покращення якості продукції, збільшення рентабельності. Разом з тим, зростає негативний вплив на навколишнє середовище, особливо у частині утилізації відходів та неприємних запахів, що виділяються з приміщень для тварин. Особливо значний вплив на довкілля мають великі тваринницькі комплекси [2, 3]. Екологічний вплив великих свинарських підприємств проявляється у виділенні аміаку та інших газів, емісії у ґрунт стічних вод тощо. Так, наприклад свиноферма на 100 тис. голів викидає в атмосферу щогодини приблизно 160 кг аміаку, 14 кг сірководню, 25 кг пилу. Газоподібні викиди у повітря токсичних сполук, зокрема таких, що мають високу стійкість і, як наслідок, здатність до акумуляції в навколишньому середовищі підприємств промислового свинарства, погіршують екологічну обстановку [4–8].

Ефективність перетворення азоту і фосфору може змінюватись від 10 % до 40 % залежно від виду тварини, раціону та технологій, що застосовуються в даному конкретному господарстві. Перетворення азоту корму на тваринний білок у середньому ефективніше у тварин із однокамерним шлунком, ніж у тварин із багатокамерним [8]. Беручи до уваги ефективність і кількість тварин, найбільшими виробниками азотного гною є велика рогата худоба, вівці та свині, що дають відповідно 60 %, 12 % та 6 % загального азоту гною відповідно [9,

10]. Важливо відзначити, що ці відмінності в ефективності використання азоту можуть бути такими ж значними в межах одного типу тварин, як і між виробничими системами. Контроль утримання тварин та корми для тварин є найбільш важливими факторами зниження виділення азоту [10–12].

Світовий сектор свинини розвивається від локальних та горизонтально інтегрованих виробничих підрозділів до глобалізованих, замкнених і вертикально інтегрованих ланцюжків поставок, які залежать від міжнародної торгівлі як щодо ресурсів (наприклад, високоякісних кормів), так і продуктів (наприклад, продуктів зі свинини) [13]. Ця тенденція включає автоматизацію, спеціалізацію та зниження транспортних витрат. На такі великі «промислово розвинені» комплекси припадає близько 56 % світових виробників свинини [2, 14, 15]. Але, треба зауважити, що за рахунок подібних комплексів у значних масштабах відбувається негативний вплив на навколишнє середовище, включаючи втрати азоту (N) та фосфору (P), що може викликати такі негативні наслідки як зміна клімату, підкислення та етерифікація ґрунту [16–19]. В останні десятиліття втрати азоту від антропогенної діяльності зросли до рівня, що перевищив планетарні кордони [20] і, як очікується, зростатиме і далі [21]. Промислове свинарство сприяє таким втратам азоту, завдяки газоподібним викидам та виносу нітратів (NO_3^-) та органічного азоту в ґрунті та поверхневій воді [22, 23].

У сучасному свинарстві для вирощування свині від 8 кг поросля після відлучення і до 110 кг свині що іде на забій використовується ~6,3 кг азоту. Тоді як ~ 46 % цього N відкладається у тілі тварини у вигляді білків, інші ~ 54 % виводиться з організму, переважно, з калом і сечею. Певна частина виведеного з організму N може бути повторно використано як добрива, але значна його частина втрачається у вигляді викидів в атмосферу у вигляді аміаку (NH_3), оксидів азоту (N_2O , NO_x), а також виносом у ґрунт і воду через вилуговування і стік нітратів (NO_3) та інших сполук азоту [24, 25]. З підвищенням ефективності перетворення рослинного білка на тваринний білок зменшується екологічне навантаження на виробництво 1 кг свинини, що покращує стійкість та ефективність галузі свинарства в цілому. Ефективність використання азоту знижується ~ 3 % (з 46 % до 43 %) якщо брати до уваги підсисний період у порослят та свиноматок. В цей час N корму відкладається у тілі порослят (~ 200 г N на 8 кг поросля) та у свиноматок. Більшість N виділяється із сечею та калом, що дає рівень ефективності використання N близько 24 %. По відношенню до фази відгодівлі вплив підсисного періоду на загальну ефективність використання N свинями досить невисокий. Наприклад, для свиноматки, що приносить 27 порослят на рік, свиноматка та її порослята споживають близько 28,8 кг азоту на рік, тоді як ці 27 порослят вирощені від 8 до 110 кг споживають близько 170,1 кг N для свого росту та розвитку. Це може пояснити, чому зусилля на зниження екскреції азоту в основному зосереджені на фазі відгодівлі [26].

Викиди азоту від свиней починаються з його виділення у місцях утримання тварин і продовжуються протягом усього процесу управління відходами. Азот також втрачається через стоки та вимивання у ґрунт із місць сухого зберігання гною, на відгодівельних майданчиках та пасовищах. Прямі викиди N_2O відбуваються внаслідок послідовних процесів нітрифікації та денітрифікації азоту у відходах свиней, а непрямі викиди – переважно внаслідок

втрат летючого азоту у вигляді NH_3 і NO_x . Внесок свинарства України у викиди аміаку у 2010 році становив 36,5% усіх викидів від тваринництва або 132,8 тис. т/рік [4]. Частка викидів парникових газів від свинарства становить 11,9 % загальної кількості викидів від усіх сільськогосподарських тварин, як від гною свиней – понад 60%. Емісія N_2O знаходяться у прямій залежності від кількості поголів'я тварин і, відповідно, кількості гною, що створюється, і вмісту в ньому азоту [5, 16, 17].

Часто обговорюються наступні основні стратегії управління пов'язані з покращенням ефективності використання N: генетичний відбір, кастрація, забійна вага, а також адаптована годівля та живлення тварин. Оскільки годівля є одним з найважливіших чинників, що впливають на екскрецію N, потрібно обговорити стратегії для максимізації її ефективності. Хоча індивідуальна адаптована годівля (точна годівля, *precision feeding*) може принести значну користь і є зсувом парадигми у свинарстві, і як стверджують деякі автори, є вкрай необхідною [27], більшість свиней у світі все ще розміщуються та годуються групами. Таким чином, покращення практики годівлі тварин при груповому їх утриманні може мати найбільший вплив зараз і найближчим часом. Отже, основну увагу в цій статті присвячено підвищенню ефективності використання азоту та фосфору свинями при їх груповому утриманні.

Мета досліджень. Дослідити вплив різноманітних факторів на викиди сполук азоту та фосфору у навколишнє середовище для оптимізації технологічного менеджменту та перспективного планування досліджень у свинарстві, а також підвищення ефективності використання поживних речовин свинями при їх груповому утриманні.

Матеріали та методи досліджень. Матеріалом проблеми, що вивчалася слугував різноманітний пласт джерельного підґрунтя, який містить підсумки раніше проведених досліджень з викладенням різних концепцій, формулюванням теоретичних, методичних або практичних проблем. Узагальнення результатів аналізу наукового доробку вітчизняних та зарубіжних вчених надало змогу виявити окремі аспекти, пов'язані з темою роботи, які потребують поглибленого вивчення.

Методологічна основа наукового пошуку базувалася на загальнонаукових (типологізація, класифікація, аналіз та синтез, абстрактно-логічний) та міждисциплінарних (структурно-системний підхід), історичні (проблемно-хронологічний, описовий, джерелознавчий та історичний аналіз та синтез) методах досліджень. За їх допомогою систематизовано наукові дані щодо технологічного менеджменту зменшення екологічно-шкідливих викидів тваринництва в навколишнє середовище.

Результати дослідження та їх обговорення.

Генетичний відбір. Свині сучасних м'ясних порід відрізняються швидким обміном речовин, а, отже, і вищими вимогами до повноцінності годівлі, особливо білкової, яка залежить від оптимального співвідношення між замінятими та незамінними амінокислотами. Необхідно знайти оптимальне поєднання в раціонах незамінних амінокислот та енергії, що забезпечує їх максимальне використання на синтез м'яса в тілі тварин. Вирішення цього завдання ускладнюється тим, що амінокислотний склад тіла тварин різних генотипів різниться, а, отже, і кількість амінокислот, що їм необхідно отримувати з кормом, також різна. Тобто склад «ідеального протеїну» для

кожного генотипу має бути свій. Це підтверджується дослідженнями, що вказують на те що різниця між породами, лініями та кросами свиней по здатності перетворення азоту корму у продукцію обумовлені їх неоднаковою здатністю засвоювати поживні речовини корму [28–33].

Дотримуючись «ідеального співвідношення» незамінних амінокислот в раціоні, можна знизити кількість сирого протеїну в 1 кг комбікорму для поголів'я свиней, що відгодовується, без зниження їх продуктивності на 5–10 г [34, 35].

Генетичний відбір може покращувати ефективність використання азоту свинями, за їх групового утримання за допомогою двох механізмів: по-перше – безпосереднього відбору тварин із високою ефективністю використання азоту корму, а по-друге, шляхом вибору однорідних груп свиней. При цьому відбір тварин та формування груп може проводитись як методами класичної селекції, так і із застосуванням сучасних ДНК технологій, які суттєво підвищують ефективність такого відбору [36–41]. Підвищення енергоефективності кормів є основною метою поточних програм розведення тварин [42, 43]. Зазвичай підвищення енергоефективності досягається шляхом зниження коефіцієнта конверсії корма. Проте цей підхід може призвести до зайвого зниження споживання корму, що в свою чергу може обмежити подальше посилення росту тварин [44]. Залишкове споживання корму (RFI) – це різниця між кількістю спожитого твариною корму та теоретичною кількістю, яка повинна споживати тварина на основі норм для даного генотипу [44, 45]. Не змінюючи раціон, зрозуміло, що свині з низьким коефіцієнтом перетворення корму (FCR) або низьким залишковим споживанням корму (LRFI) споживають його менше і, отже, виділяють менше N на 1 кг приросту. Однак поки що здається логічним припустити, що на ефективність використання білка тваринами може благотворно впливати добір і відбір у тому числі з використанням маркерної селекції. Вибір насамперед зосереджений на енергоефективності, а не на використанні азоту корму. Окрім того, треба враховувати, що в різних умовах навколишнього середовища певні гени можуть працювати по різному. Саме тому, більшість програм розведення використовують раціони, розроблені з метою повної реалізації генетичного потенціалу тварин. Moehn et al. [46] зауважили, що швидкість катаболізму лізину зменшується із збільшенням потенціалу зростання свиней. Дослідження свідчать, що у свиней з низьким RFI краще ефективність використання азоту, ніж у свиней з високим RFI [47]. Автори стверджують, що зниження обороту м'язового білка може бути важливою причиною підвищення ефективності корму свиней з низьким RFI, на підставі вимірювання активності ферментів. Експерименти з різними генетичними лініями свиней на однотипних кормах показали, що гранична ефективність використання білка істотно не відрізняється між породами [48, 49]. Але отримані дані вимагають уточнення у зв'язку з появою нових генетичних ліній свиней. Гранична ефективність використання азоту може бути визначена як частка приросту кількості спожитого білка, збереженого в тілі. При проведенні таких дослідів принаймні з двома генотипами необхідно враховувати рівень білка в раціоні. Обережність необхідна при інтерпретації відмінностей у метаболізмі білка у свиней із різних генетичних ліній, яких годують лише одним типом раціону, тому що засвоєння амінокислот різними

тваринами щодо їх вимог може значно відрізнятись і, отже, може викликати різні фізіологічні відповіді.

Вищий ступінь обмеження кількості білка в раціоні може призвести до більш ефективного використання кормів, але в той же час може супроводжуватися зниженням рівня обміну у м'язах, і, відповідно, приростів, тому використовуючи раціони з такою кількістю амінокислот, що обмежує ріст та розвиток, слід віддавати перевагу таким тваринам, які використовують білок ефективніше.

Кастрація. У більшості країн кастрація кнурців була поширена донедавна. Зараз громадський тиск вимагає вирощувати некастрованих кнурів або імунокастратів [50]. Свинарство в ЄС зобов'язалося до 2018 р. заборонити хірургічну кастрацію самців поросят, які мають більш високу здатність до синтезу білка, ніж свинки або кастрати. З точки зору споживання корму, імунокастрати можуть вважатися кнурцями до другої вакцинації [50], після чого споживання ними корми різко збільшується. Відмінності в ефективності використання N між боровками та кнурами особливо помітні при використанні редуційного підходу з одним типом раціону, що характеризується адекватним рівнем амінокислот. Наприклад, Van den Broeke et al. [51] показали, що в досліді з чотирма групами тварин (кнури, свинки, кастрати, імунокастрати), які отримували однаковий раціон, збалансований за рівнем амінокислот для кнурів. При цьому кастрати споживали білок раціону понад їх потреби, що відбилося на вищому рівні сечовини в сироватці кастратів та імунокастратів порівняно з кнурами.

Хоча відмінності в потребах у поживних речовинах між статями добре встановлені [28], мало що відомо про гендерні відмінності у граничній ефективності використання білка.

Кнури мають більш високий потенціал акреції білка, ніж свинки або кастрати [52–54]. Навіть при згодовуванні раціону з більш високою кількістю сирого протеїну кнури зберігають більшу частину білка, а не виводять його з організму. Отже, ефект зниження кількості протеїну в раціоні кнурів може бути не таким вираженим при скороченні викидів NH_3 порівняно зі свинками чи кастратами.

Відповідно до Moehn et al. [46], які зауважили, що швидкість катаболізму лізину зменшується зі збільшенням потенціалу зростання свиней, більш висока гранична ефективність лізину може бути у кнурів порівняно з кастратами. Крім того, у кнурів менша товщина шпигу ніж у кастратів [55], а відношення м'язового білка до загальної кількості білка в організмі і співвідношення білка для зростання проти білка для підтримки також вище у кнурів порівняно з кастратами. Тому можна було очікувати загальне зниження засвоєння лізину на кг пісного м'яса при вирощуванні кнурів порівняно з кастратами.

Забійна вага. Встановлено, що із збільшенням живої ваги збільшується екскреція азоту свинями [42]. Виникає питання, чи це результат зниження граничної ефективності або неадаптованої годівлі. У дослідженнях Ghimire et al. [56] не спостерігалось суттєвої різниці в ефективності використання лізину свинями на дорощуванні та наприкінці відгодівлі. Так, Möhn S. et al. [46, 57] стверджують, що рівень катаболізму лізину та гранична ефективність використання доступного лізину не залежить від живої ваги тварин. На відміну від існуючих норм [28], емпіричні результати припускають, що гранична

ефективність використання лізину для синтезу білка зменшується зі збільшенням живої ваги від 0,68 при 20 кг до 0,57 при 120 кг. Крім того, вимоги до якості співвідношення амінокислот у кормі зростають із збільшенням живої ваги тварин. Це має на увазі більш високу потребу в амінокислотах на 1 кг сухого приросту зі збільшенням маси тіла. Хоча зниження забійної ваги, мабуть, призводить до покращення ефективності використання азоту, є компроміс між забійною вагою та кількістю і якістю корму [58]. Відгодівля до нижчої забійної ваги сприяє більш високій ефективності використання кормів, проте потребує також більшої кількості поросят для виробництва 1000 кг свинини, а також більше свиноматок. Збільшення забійної ваги зменшує кількість циклів відгодівлі на рік і, таким чином, зменшує кількість свиней, але це передбачає збільшення витрат корму (як економічні, так і екологічні). Збільшення живої ваги також збільшує вихід туші без явного впливу на відсоток пісного м'яса в ній [59–61]. Тому відгодівля свиней менше ніж до 90 кг чи більше ніж до 120 кг вимагають більшої кількості амінокислот на 1 кг пісного приросту.

На підставі наведеної вище інформації ефект забійної ваги на ефективність використання азоту може бути суттєво завищений у практиці, що спричинено насамперед іншими факторами, такими як надлишок сирого білка в раціоні порівняно з вимогами на конкретну живу вагу та генотип.

Вік тварин. Фізіологічний стан тварин та їх вік також впливають на швидкість екскреції азоту та відповідно викиди NH_3 . На фізіологічних стадіях, коли рівень утримання азоту в тілі і, отже, потреба тварини в білку та амінокислотах низька, зниження вмісту сирого протеїну у кормах, має значний вплив на зменшення викидів NH_3 . Kim et al. [62] показали, що зниження викидів NH_3 від вирощування свиней було вищим саме на завершальній фазі, з використанням високоякісних низькопротеїнових раціонів. Montalvo et al. [63] вимірювали зниження викидів NH_3 від зменшення кількості сирого протеїну в раціоні поросят. Автори виявили зниження викидів NH_3 близько 20 % за кожен відсоток сирого протеїну. Хоча ці дані і виглядають багатообіцяюче, практичне значення цього можна поставити під сумнів, оскільки поросята споживають відносно невеликі кількості корму протягом обмеженого періоду часу, і, отже, практичний потенціал зниження вмісту сирого протеїну в їх раціонах для скорочення викидів NH_3 досить низький.

Стратегії годівлі та живлення свиней для максимізації ефективності використання азоту при їх груповому утриманні. Вищезгадані стратегії управління (генетичний відбір, кастрація, забійна вага тощо) впливають на кількість SID лізину на кг пісного м'яса. При використанні редукаціоністського підходу (тобто однаковий раціон для всіх піддослідних свиней) для вивчення впливу вищевказаних факторів управління, більшість відмінностей, що спостерігаються у дослідженнях можна віднести все ж таки до відмінностей в раціонах. Очевидно, що якщо при годівлі кастратів використовується той же раціон, що і при годівлі свинок, або при годівлі 150 кг свиней той же раціон, що і для 100 кг свиней, внутрішні відмінності будуть перебільшені. Отже, важливо правильно підібрати раціон для кожної статево-вікової групи тварин, як у практиці, і під час проведення експериментальних досліджень. Так, кількість азоту, що виділяється, і основний маршрут його екскреції (кал або сеча) залежить від кількості поглиненого азоту, частки засвоєного азоту, вимог до

балансу амінокислот для даного генотипу тварин вимоги і відповідно балансу амінокислот в раціоні [64–67].

Азот є основним компонентом сирого протеїну та становить близько 16 % його маси. Хоча частина спожитого азоту білка використовується тваринам для утворення м'яса, молока, яєць, тканин організму та потомства, великий його відсоток виділяється з фекаліями та сечею. Азот у фекаліях в основному знаходиться у формі органічних сполук і менш схильний до втрат у результаті випаровування у вигляді NH_3 . Сеча, з іншого боку, містить азот у формі сечовини, яка за дії бактеріальної уреазі легко перетворюється на NH_3 . Це підкреслювалося в багатьох дослідженнях, в яких повідомляється, що присутність азотистих сполук (насамперед у вигляді сечовини в сечі) поряд з високим рН гною є основними факторами, що призводять до викидів NH_3 [68–71].

Потенціал зниження кількості сирого протеїну в раціонах тварин для зниження як кількості N, так і рН гною був продемонстрований у різних дослідженнях [68, 69, 72–74]. Через побоювання виробників щодо продуктивності тварин, а також через межі безпеки, що застосовуються в кормовій галузі, сирого протеїну в раціон зазвичай вводять понад те, що потрібно тваринам. Це надлишкове надходження сирого протеїну призводить до збільшення вмісту азоту в гної та подальшому збільшенню викидів NH_3 [20, 75, 76]. Дослідження показали, на можливість зниження рівня сирого протеїну в раціонах молодняку свиней за рахунок нормування споживаних ними незамінних амінокислот і співвідношення їх з обмінною енергією, не впливаючи на продуктивність і здоров'я тварин, що призводить до зниження викидів NH_3 [77–80].

Встановлено, що зниження рівня білка в раціоні на 3% або 6% від норми [28], у поросят після відлучення може знизити викиди азоту, але й водночас погіршити у них травлення. Отже, рівень білка в раціоні поросят не може бути знижений більш ніж на 3% з урахуванням не адаптивних змін морфології тонкого кишківника та активності пепсину у поросят після відлучення [69, 73, 80].

Задоволення потреб свиней у поживних речовинах при груповому їх утриманні у різні стадії їх росту та розвитку. Фаза годівлі (адаптація вмісту амінокислот у раціоні до фізіологічної потреби тварини в різні етапи життя) є визнаною стратегією зниження споживання та екскреції азоту при збереженні максимальної продуктивності [81, 82]. Однофазна, трифазна і багатofазна годівля свиней переслідують одну і ту ж мету – забезпечити тварин достатньою кількістю поживних речовин у кожний момент часу. Зі збільшенням кількості фаз збільшується, і теоретично можлива кількість засвоєного білка, що буде краще відповідати потребам тварини, а отже буде зменшуватися і, кількість екскретованого азоту. Romar C. et al. [83] оцінили зниження екскреції азоту на 12 % шляхом переходу із трифазної годівлі на щоденну багатofазну годівлю свиней за індивідуальними раціонами. У цьому дослідженні ефективність засвоєння азоту корму в азот тіла становила 37 % при трифазній годівлі та 40 % при щоденній багатofазній стратегії годівлі. Andretta et al. [27] показали, що можна досягти ефективності засвоєння азоту корму в азот тіла до 57 % за індивідуальної годівлі свиней з урахуванням фази доби.

У дослідженнях проведених у Flanders Research Institute for Agriculture, Fisheries and Food (ILVO, Melle, Belgium), ефективність засвоєння азоту в 54 % була отримана у кнурів за групового їх утримання та годівлею за трифазною системою з використанням комерційних раціонів [84]. Тим не менш, існує велика різниця між теоретичними та практичними системами поетапної годівлі. Хоча теоретичні рівні амінокислот, запропоновані для трифазної годівлі, достатні на початку і надмірні наприкінці фази годівлі, в комерційній трифазній системі годівлі поживні речовини обмежені на початку і є в надлишку наприкінці кожної фази годівлі.

Як зазначено вище, групове утримання свиней є звичайною практикою для вирощування поросят та свиней на відгодівлі. Свиней годують та розмішують за віковими групами. Тим не менш, окремі свині одного віку в групі також відрізняються за здатністю до засвоєння білка а, отже, можуть відрізнятися за необхідною кількістю амінокислот. Ці фактори важливо враховувати під час формулювання рекомендацій з годівлі свиней у групах та можуть пояснити відмінності у результатах досліджень на індивідуальному чи груповому рівні.

Оптимальний амінокислотний баланс. Потреба у тваринному білку полягає в споживанні повного набору амінокислот натомість сирого протеїну. Амінокислоти, спожиті в надлишку, дезамінуються і сечовина, що утворюється, виводиться з сечею [35, 85, 86]. Зниження кількості сирого протеїну в кормах за підтримки оптимальних концентрацій SID амінокислот. Доведено, що можна знизити споживання азоту на 1 кг отриманого пісного м'яса. Це може бути отримано шляхом використання джерел амінокислот, що легко засвоюються. Нестача однієї з амінокислот призводить до неефективного використання інших, що дезамінуються і виводяться з організму з сечею, викликаючи неоптимальний ріст [87, 88].

Вперше концепцію ідеального протеїну запропонували понад 50 років тому [89]. Фуллер і Бейкер висунули цю концепцію в галузі тваринництва, насамперед свійської птиці та свиней. Ця концепція відноситься до всіх незамінних амінокислот, що є основним обмеженням для продуктивності, тому кількість і співвідношення амінокислот потрібно нормувати якомога точніше.

У здорових свиней лізин (Lys) є першою лімітуючою амінокислотою для їх росту, тому співвідношення амінокислот в раціонах свиней відображається як відношення до Lys (Lys = 100%). У моделі ідеального білку вимоги встановлюються лише на рівні тканини, для підтримки максимального відкладення білка. Хоча потреба у Lys змінюється з віком, вважається, що ідеальний профіль білка та відношення амінокислот до Lys суттєво не змінюються. Отже, співвідношення інших амінокислот щодо Lys залишається приблизно постійним протягом усього життєвого циклу свині [26, 28, 35, 90, 91].

Профіль ідеального білка варіюється між установами через методи, що використовуються для визначення вимог та генотипів (таблиця 1).

Можливо, що профіль ідеального протеїну змінюється під час хвороби чи імуностимуляції. Таким чином, профілі ідеального протеїну, ймовірно, будуть змінюватись в залежності від типу (кишкові, респіраторні, системні) та тяжкості захворювання. Тим не менш, багато з цих факторів не було з'ясовано. У більшості хворобливих станів може знадобитися корекція для зниження

споживання корму, тому може бути краще висловити вимоги до амінокислот щодо енергії раціону [34, 92, 93].

Таблиця 1. Ідеальний протеїн для свиней за даними різних наукових установ

Співвідношення	NRC (2012), USA	INRA (2013), France	VSP (2018), Denmark
Lys:Lys	100	100	100
Thr:Lys	59	65	61
Met:Lys	29	30	32
(Met+Cys):Lys	55	60	54
Trp:Lys	16	22	21
Val:Lys	63	70	67
Ile:Lys	51	52	53
Leu:Lys	100	101	100
His:Lys	34	31	32
Phe:Lys	58	54	54
(Phe+Tyr):Lys	93	–	100
Tyr:Lys	–	40	–

Примітка: адаптовано по NRC (2012), van Milgen and Dourmad (2015), VSP (2018)

Кормові добавки. Перетравність і засвоюваність поживних речовин корму, отже, та його екскреція з калом і сечею, значною мірою залежить від його хімічного складу, та наявності різноманітних антипоживних чинників. Маніпуляції зі складом раціону визнаються можливим заходом зменшення викидів, але це може вплинути на ріст свиней і, отже, на витрати виробництва. Виділяють чотири групи маніпуляцій з раціоном, а саме: 1) зниження вмісту сирого протеїну (СР); 2) додавання екзогенних ферментів; 3) додавання ферментованих інгредієнтів корму; 4) додавання інших добавок, наприклад, ферментованих вуглеводів, підкислювачів/солей та пробіотиків у корма. Встановлено що зниження вмісту сирого протеїну значно зменшило як загальне виділення N (28,5 %), так і викиди NH₃ (34,4 %). Додавання протеази зменшує екскрецію N (18,2 %), але не впливає на викиди NH₃. Додавання інших добавок одночасно зменшує викиди NH₃ (21,5 %) і H₂S (23,2 %). Додавання фітази до корму знижує загальну екскрецію P на 31,4 %. Раціони з ферментованими кормовими інгредієнтами мають тенденцію до зниження екскреції та викидів азоту. Усі дієтичні маніпуляції суттєво покращують показники росту щодо приросту ваги та ефективності корму, за винятком зниження вмісту сирого протеїну. Аналіз економічної ефективності показав, що різні заходи щодо маніпулювання раціонами були економічно вигідними для фермерів через покращену ефективність перетворення корму на м'ясо [83, 94–97].

Джерело білка. Для підвищення ефективності використання корму необхідно покращувати перетравність всіх його поживних речовин, і, зокрема, сирого протеїну – основного пластичного та дещо енергетичного матеріалу організму тварин. Здійснення контролю за фізіологічно обґрунтованим складом раціону та поживністю його за обмінною енергією, сирим протеїном і незамінними амінокислотами, дозволить раціонально використовувати постійно

дефіцитний та високовартісний кормовий білок, шляхом покращання метаболічних процесів у свиней. Співвідношення протеїну у комбікормах до енергетичної їх насиченості повинно бути оптимальним для кожної технологічної групи тварин, за умов максимального наближення протеїну, за складом незамінних амінокислот, до «ідеального». У майбутньому на ринку білкових кормів України переважатимуть найбільш високоврожайні та технологічні, а продукти їх переробки можуть використовуватися у якості інгредієнтів комбікормів та білкових концентратів. Перспективними у цьому плані залишаються на сьогодні відходи олійно-жирових (макуха, шрот) та зернопереробних (кукурузний глютен) підприємств, м'ясокомбінатів (м'ясне, м'ясо-кісткове та кров'яне борошно), молокозаводів (відвійки, сироватка), дріжджі, соя та продукти її переробки, а також сінне та трав'яне борошно багаторічних бобових культур. При виготовленні комбікормів для свиней необхідно враховувати реальний амінокислотний склад інгредієнтів та допустимі межі наявності їх у раціонах [94, 98].

Дослідженнями встановлено, що зміна основного джерела білка в практичних раціонах, складених відповідно до рекомендацій з основних поживних речовин (NRC та інші норми), може призводити до істотних змін у процесах засвоєння та екскреції азоту свинями [32, 98, 99]

Розрахунок та вираження ефективності використання білка. В умовах промислового свинарського комплексу можна розглядати поросят та поживні речовини як вхідні дані. Виходи можуть бути визначені по-різному: кг живої маси, кг туші, кг пісного м'яса або кг поживних речовин (наприклад, кг N). Теоретично, економічна та екологічна оптимізація ефективності використання поживних речовин має бути зроблена на одиницю тварини на фермі з урахуванням усіх компромісів між входами та виходами. У середині групи тварини розрізняються за своїми індивідуальними вимогами та характеристиками [100, 101]. Але при груповому утриманні тварин індивідуальну різницю між свинями неможливо точно виміряти чи контролювати. Оптимізація ефективності індивідуального використання поживних речовин, хоч і бажана, може виявитися важкою і досить затратною в поточній практиці, оскільки вимагає використання електронних чіпів, кормових станцій та індивідуального складання програм годівлі [102, 103]. Тим не менш, ефективність використання поживних речовин все ще може бути покращена шляхом вжиття заходів на рівні групи свиней. Хоча стохастичність слід враховувати під час адаптації стратегії управління тваринництвом [104], міркування на рівні «середньої» тварини призводить до досить простих та надійних розрахунків. Ця «середня» свиня теоретична тварина, чії вимоги, характеристики та ефективність може бути розрахована безпосередньо з вимірних характеристик на рівні певного стада або ферми. У цій «середній» свині ефективність N всього тіла може бути визначена як кількість N, що залишилася в організмі, поділена на кількість N з'їденого твариною. Оскільки головна мета вирощування свині – це виробництво м'яса, найбільш функціональний підхід полягає у використанні кількості N, необхідної для виробництва одного кг пісного м'яса. Так як потреба в білку виражена щодо лізину (lys), пропонується використовувати стандартизовану іллеальну засвоюваність (SID) лізину lys/кг пісного м'яса як функціональний захід для встановлення ефективності використання азоту [105].

Зниження викидів фосфору. Зменшення вмісту фосфору в кормі на кожну десяту частину грама призводить до зниження 10% фосфору у гної. Тому непотрібний надлишок цього мінералу в комбікормі – груба недбалість. Критичними фазами є кінець відгодівлі та поросні свиноматки. Зниження вмісту фосфору в раціонах на практиці обмежено певними факторами.

Використання раціонів без фітази, що служить для звільнення фосфору з фітинових сполук рослинної сировини, або вона вводиться у недостатній кількості. Без фітази перетравність фосфору в раціоні становить лише 30–40 %, а з фітазою – 65 %. Тому для забезпечення необхідного для тварин рівня фосфору без фітази доводиться вводити більше добавок, що містять фосфор, а значить більше фосфору потім потрапляє в навколишнє середовище.

Використання компонентів із високим вмістом фосфору. Сюди належать більшість побічних продуктів, наприклад, ріпаковий шрот або мінеральні премікси з високим вмістом фосфору. Застосування компонентів з низькою доступністю фосфору, таких як висівки, екстракційні шроти тощо. Так, доступність фосфору у сирому зерні кукурудзи становить 15 %, у корнажі (силосоване зерно кукурудзи) – 50 %. В 1 кг комбікорму до складу якого входять зернові, соя та мінеральний премікс без фосфору, міститься ~ 4 г фосфору. А використання таких баластних носіїв сирої клітковини, як висівки, шрот, солодові оболонки тощо піднімає цей показник значно вище [65, 106–109].

Щоб досягти максимум зниження рівня азоту і фосфору при врахуванні індивідуальної ситуації на підприємстві, необхідні дослідження кормової сировини. Тільки так можна розробити раціони без перевищення даних показників та досягти відповідності потреби тваринництва у кормовій сировині та необхідної площі для вивезення гною.

Системи збору та переробки гною. Мінливість скорочення викидів може бути результатом відмінностей між системами управління гноєм. Дослідження показали, що тип свинарників, методи зберігання навозу та технології, пов'язані із різними системами збору та переробки навозу, впливає на викиди NH_3 [14, 110, 111]. Наприклад, у дослідженнях Külling et al. [111] було встановлено вплив зниження вмісту сирого протеїну у кормі на викиди NH_3 для різних типів сховищ, починаючи від рідкого гною, гною збагаченого сечею, гною на фермі з глибокою підстилкою. Скорочення викидів NH_3 показало суттєві коливання в діапазоні 9–30 % на відсоткову точку зниження сирого протеїну, наголошуючи на мінливості, пов'язані з різними типами зберігання на схемах викидів NH_3 . Детальне дослідження, що розділяє вплив систем збору та переробки навозу на викиди NH_3 , виходить за рамки цього аналізу. Проте правильна категоризація та облік відмінностей між різними системами збору та переробки гною під час вимірювання та кількісного визначення кількості викидів може допомогти зменшити мінливість їх оцінки.

Розвиток рослинництва, розведення та переробки спричинив утворення великої кількості органічних відходів, а саме рослинних залишків, тваринного гною та побічних продуктів сільського господарства.

За однією з оцінок, до 2025 року обсяг глобальних твердих відходів сягне понад 6 млн т/день [112]. Цей показник продовжуватиме збільшуватись із зростанням попиту на продукти харчування. Ефективна обробка та утилізація цих органічних відходів не тільки зменшує відходи ресурсів шляхом переробки

органічного вуглецю та поживних речовин, але й запобігає вторинному забрудненню шляхом зменшення викидів аміаку та парникових газів. Однак відокремлення рослинництва від тваринництва призводить до недостатньої кількості сільськогосподарських угідь для застосування гною у якості добрива, особливо в країнах, що розвиваються [7, 113]. Компостування історично здійснюється фермерами для утилізації гною. Це не нова технологія, а економічний та екологічний варіант переробки органічних відходів. Органічні відходи можуть бути перетворені на стійкі та дезінфіковані органічні добрива для сільського господарства [114, 115]. Під час аеробного компостування органічна речовина біологічно розкладається мікроорганізмами із споживанням кисню (O_2), а також утворюється вуглекислий газ (CO_2), водяна пара, тепло та гумус [116]. Отже, контроль умов процесу, пов'язаних із діяльністю мікробів, відіграє життєво важливу роль у покращенні ефективності компостування [117]. Значна кількість досліджень зосереджена на впливі різних факторів, таких як співвідношення C/N, вологість, рН, насипна щільність і подача O_2 , на процес компостування [118, 119]. Ці параметри визначають оптимальні умови для мікробної деградації. Крім того, значні втрати вуглецю (C) і азоту (N) неминучі в процесі компостування, що призводить до зниження якості компосту. Не можна ігнорувати викликані цим екологічні проблеми. Через високу температуру та рН під час компостування C і N втрачаються в основному у вигляді CO_2 і аміаку (NH_3) відповідно [120]. При неякісній закладці компостні купи також можуть виробляти метан (CH_4) і закис азоту (N_2O), які сприяють глобальному потеплінню [121]. Анаеробне зброджування, інший спосіб переробки відходів для виробництва біогазу, може сприяти зменшенню викидів парникових газів. Через різні властивості субстрату та управління процесом під час компостування ступінь втрат C і N значно відрізнявся в різних дослідженнях. В декількох публікаціях кількісно визначено втрати азоту за різних умов компостування [71, 122, 123], але кількісного визначення втрат C все ще немає. Крім того, систематичне розуміння втрат C і N під час компостування певного виду гною, такого як свинячий гній, може бути цінним для процесів компостування на фермі. Було запропоновано кілька технологій для зменшення втрат C і N під час компостування. Ці технології можна розділити на чотири групи: регулювання властивостей компостної суміші, контроль умов процесу компостування, застосування добавок та застосування інших підходів до попередньої обробки. Щоб забезпечити відповідне середовище для розвитку та активності мікроорганізмів, початкове співвідношення C/N, вміст вологи та рН можна відкоригувати до відповідних діапазонів [123]. Однак параметр субстрату для мінімізації викидів NH_3 і парникових газів не є постійним для різних органічних відходів і методів компостування [112]. Ключовим моментом контролю умов процесу є підтримка оптимальної концентрації O_2 у компостному матеріалі. Перевертання вивільняє газоподібний NH_3 з внутрішньої частини компосту, але слабкий рух повітря може призвести до місцевих високих температур і анаеробних ділянок і таким чином генерувати CH_4 [7, 113, 115]. Таким чином, застосування добавок є потенційною технологією для зменшення втрат C і N. Сао, Y. et al [126] досліджували це питання за допомогою мета-аналізу, але процес зменшення викидів NH_3 і парникових газів при компостуванні конкретних органічних відходів з різними добавками є незрозумілим. Крім того, деякі інші підходи до попередньої обробки, такі як гіпертермофільний [125],

термічний гідроліз [126] та ультразвукові процеси [127], можуть відігравати важливу роль у зменшенні втрат С і N при компостуванні.

Значна кількість інформації, зібрана з літератури у цьому дослідженні, дозволила ширше розглянути вплив різноманітних факторів на викиди сполук азоту та фосфору у навколишнє середовище. Статистична оцінка цих факторів була неможлива через обмежену доступність даних. Проте, обговорення цих факторів є важливим для перспективного планування досліджень з вимірювання викидів, а також для повної оцінки зниження викидів N та P внаслідок оптимізації складу раціонів тварин та процесів переробки та утилізації гною.

Висновки. Обговорені стратегії управління, що використовуються в науці та на практиці, які пов'язані з підвищенням ефективності використання азоту та фосфору у свинарстві, а саме: генетичний відбір, кастрація, забійна вага, точна годівля та системи видалення та переробки гною. Оскільки раціон помітно впливає на можливі втрати азоту і фосфору, його необхідно враховувати при оцінці стратегій управління. Кількість виділеного азоту суттєво залежить від кількості поглиненого азоту, кількості абсорбованого азоту, балансу амінокислот у раціоні та потреби тварини в азоті та амінокислотах. Для тварин, що утримуються групами, потрібно використовувати багатофазні системи годівлі, оскільки щоденна багатофазна годівля, адаптована до потреб окремої тварини в амінокислотах та інших поживних речовинах, ймовірно, є найбільш ефективною. Питоме споживання амінокислот має бути збалансоване за допомогою концепції ідеального білку. При кращому знанні потреб окремих тварин та комерційній доступності певних амінокислот загальний рівень сирого протеїну в раціоні може бути знижений у певних межах. Проте потрібні подальші дослідження мінімального рівня сирого протеїну, що забезпечує максимальну продуктивність. Правильне використання кормових добавок та ферментних препаратів у раціонах сприяє зниженню викидів азоту та фосфору. Комбінуючи оптимальну годівлю та управління, у найближчому майбутньому може бути досягнута ефективність засвоєння азоту, що наближається до 60 %. Сучасні системи видалення та переробки гною сприяють ще більшому зниженню викидів у навколишнє середовище.

БІБЛОГРАФІЯ

1. Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L2284&rid=9> (date of access: 23.02.2023).
2. Пінчук В. О. Емісія парникових газів у галузі тваринництва України. *Біоресурси і природокористування*. Київ, 2015. Т. 7. № 1–2. С. 115–118 URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Bio/article/view/6350/6242> (дата звернення: 23.02.2023).
3. Ляшенко М. В. Екологічна парадигма локалізації виробництва продукції тваринництва. *Інвестиції: практика та досвід*. 2018. № 11. С. 70–75. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ipd_2018_11_14 (дата звернення: 23.02.2023).
4. Моклячук Л. І., Жукорський О. М., Пінчук В. О., Мінералов О. І., Кейван О. П., Марченко О. А. Агроекологічна оцінка викидів сполук активного

азоту у секторі сільського господарства України. *Агроекологічний журнал*. 2012. № 2. С. 36–42. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_21141796_41421944.pdf (дата звернення: 23.02.2023).

5. Akamati K.; Laliotis G.P.; Bizelis I. Comparative Assessment of Greenhouse Gas Emissions in Pig Farming Using Tier Inventories. *Environments*. 2022. 9. 59. <https://doi.org/10.3390/environments9050059> (date of access: 23.02.2023).

6. Greenhouse Gas Emissions from Pig and Chicken Supply Chains - A Global Life Cycle Assessment / M. MacLeod et al.; Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. Rome, Italy. URL: <https://avingstan.com/wordpress/wp-content/uploads/2019/08/GHG-emissions-poultry.pdf> (date of access: 12.02.2023).

7. Hotspots for Nitrogen and Phosphorus Losses from Food Production in China: A County-Scale Analysis / M. Wang et al. *Environmental Science & Technology*. 2018. Vol. 52. Is. 10. P. 5782–5791. doi: 10.1021/acs.est.7b06138.

8. Flachowsky G, Kamphues J. Carbon Footprints for Food of Animal Origin : What are the Most Preferable Criteria to Measure Animal Yields? *Animals*. 2012. Vol. 2. Is. 2. P. 108–126. doi: 10.3390/ani2020108

9. Amon B., Amon T., Boxberger J., Ch. Alt. Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2001. Vol. 60. P. 103–113. doi: 10.1023/A:1012649028772

10. Oenema O., Tamminga S. Nitrogen in global animal production and management options for improving nitrogen use efficiency. *Science in China. Series C, Life sciences* / Chinese Academy of Sciences. 2005. Vol. 48. Suppl. 2. P. 871–887. doi: 10.1007/BF03187126.

11. Heger J., Mengesha S., Vodehnal D. Effect of essential:total nitrogen ratio on protein utilization in the growing pig. *British J. Nutr.* 1998. Vol. 80. Is. 6. P. 537–544. doi: 10.1017/s0007114598001639

12. Invited review: a position on the global livestock environmental assessment model (GLEAM) / M. J. MacLeod. *Animal*. 2018. Vol. 12. P. 383–397. doi: 10.1017/S1751731117001847

13. Gerber P., Robinson T., Wassenaar T., Steinfeld H. Livestock in geographical transition. *Livestock in a Changing Landscape, Drivers, Consequences and Responses*. Island Press, Washington, Covelo, London, 2010. P. 51–66

14. World Livestock : Livestock in Food Security, Livestock in Food Security / Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, Italy. 2011. URL: <https://www.fao.org/3/i2373e/i2373e.pdf> (date of access: 12.02.2023).

15. Global Food Losses and Food Waste – Extent, Causes and Prevention / Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, Italy. 2011. URL: https://reliefweb.int/report/world/global-food-losses-and-food-waste-extent-causes-and-prevention?gclid=Cj0KCQiAutyfBhCMARIsAMgcRJSq8pt22FXG-t5Y2Tyh6KctP2zLAVBiGyDYkTWtIIUIUoPT2-0cKc4aAtCREALw_wcB (date of access: 12.02.2023).

16. Жукорський О. М., Никифорок О. В. Галузь свинарства – реальна та прогнозована загроза для довкілля. *Агроекологічний журнал*. 2013. № 3. С. 102–107.

17. Жукорський О. М., Никифорок О. В., Болтик Н. П. Оцінка викидів одорогенних забруднювачів повітря від ферм із виробництва молока. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 2. С. 21–26.
18. Trade and the role of non-food commodities for global eutrophication / H. A. Hamilton et al. *Nat. Sustain.* 2018. Vol. 1. P. 314–321. doi: 10.1038/s41893-018-0079-z
19. Poore J., Nemecek T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*. 2018. Vol. 360. Is. 6392. P. 987–992. doi: 10.1126/science.aag0216
20. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet / W. Steffen. *Science*. 2015. Vol. 347. Is. 6223. P. 736–745. doi: 10.1126/science.1259855.
21. Reactive nitrogen requirements to feed the world in 2050 and potential to mitigate nitrogen pollution / B. L. Bodirsky et al. *Nat. Commun.* 2014. Vol. 5. Article 3858. doi: 10.1038/ncomms4858
22. The nitrogen cascade / J. N. Galloway et al. *BioScience*. 2003. Vol. 53. P. 341–356. doi: 10.1641/0006-3568(2003)053(0341:TNC)2.0.CO;2.
23. Nitrogen flows in global pork supply chains and potential improvement from feeding swill to pigs / A. Uwizeye et al. *Conservation and Recycling*. 2019. Vol. 146. 168–179. doi: 10.1016/j.resconrec.2019.03.032
24. Leip A., Weiss F., Lesschen J. P., Westhoek H. The nitrogen footprint of food products in the European Union. *The Journal of Agricultural Science*. 2014. Vol. 152. Suppl. S1 (Special Issue from the 17th International Nitrogen Workshop). P. 20–33. doi: 10.1017/S0021859613000786
25. Nitrogen-neutrality : a step towards sustainability / A. Leip et al. *Environmental Research Letters*. 2014. Vol. 9. № 11. Article 115001. doi: 10.1088/1748-9326/9/11/115001
26. Review : Pork production with maximal nitrogen efficiency / S. Millet et al. *Animal*. 2018. Vol. 12. Is. 5. P. 1060–1067. doi: 10.1017/S1751731117002610
27. Andretta I., Pomar C., Rivest J., Pomar J., Radьnz J. Precision feeding can significantly reduce lysine intake and nitrogen excretion without compromising the performance of growing pigs. *Animal*. 2016. Vol. 10. Is. 7. P. 1137–1147. doi: 10.1017/S1751731115003067
28. National Research Council. Nutrient Requirements of Swine : Eleventh Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press, 2012. 420 p. doi: 10.17226/13298
29. Зеленская, К. Н. Переваримость питательных веществ и обмен азота, кальция и фосфора у племенных свиной крупной белой породы и ландрас. *Животноводство*. 1966. № 4. С. 74–75.
30. Кабанов, В. Д., Гуналов Н. В. Использование корма свиньями разных генотипов в зависимости от уровня протеинового питания. *Животноводство*. 1978. № 4. С. 52–53
31. Boisen S., Moughan P. J. Different expressions of dietary protein and amino acid digestibility in pig feeds and their application in protein evaluation: A theoretical approach. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*. 1996. Vol. 46. P. 165–172 doi: 10.1080/09064709609415867.
32. Effects of nutrition on digestion efficiency and gaseous emissions from slurry in growing pigs : II. Effect of protein source in practical diets / A. Beccaccia et

al. *Animal Feed Science and Technology*. 2015. Vol. 209. P. 137–144. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2015.07.021

33. Nitrogen and Energy Partitioning in Two Genetic Groups of Pigs Fed Low-Protein Diets at 130 kg Body Weight / Gianluca G. et al. *Italian J. of Animal Sci.* 2015. Vol. 14. Is. 3. Article 4012. doi: 10.4081/ijas.2015.4012

34. Lewis A.J. Determination of the amino acid requirements of animals. Nissen S. (Ed.), *Modern Methods in Protein Nutrition and Metabolism*, Academic Press, San Diego, CA. 1992, P. 67-85. doi: 10.1016/B978-0-12-519570-6.50007-3

35. van Milgen J., Dourmad J.-Y. Concept and application of ideal protein for pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2015. Vol. 6. Article 15. doi: 10.1186/s40104-015-0016-1

36. Genetic Architecture of Feeding Behavior and Feed Efficiency in a Duroc Pig Population / Ding, R. et al. *Frontiers in Genetics*. 2018. Vol. 9. Article 220. doi: 10.3389/fgene.2018.00220

37. Mote B. E., Rothschild M. F. Modern genetic and genomic improvement of the pig. *Animal Agriculture*, 2020. P. 249–262. doi: 10.1016/b978-0-12-817052-6.00014-8

38. Balatsky V., Bankovska I., Saienko A. Association between leptin receptor gene polymorphism and quality of both meat and back fat in large white pigs of ukrainian breeding. *Agric. Sci. Pract.*, 2016, Vol. 3. № 2. P. 42–48. doi: 10.15407/agrisp3.02.042

39. Balatsky V. N., Oliinychenko Y. K., Saienko A. M., Buslyk T. V., Bankovska I. B., Peka M. Yu. Associations of Polymorphisms in Leptin and Leptin Receptor Genes with Meat Quality in Pigs of the Ukrainian Large White Breed. *Cytol. Genet.* 2022. Vol. 56. № 6. P. 513–525. doi: 10.3103/S0095452722060020

40. Россоха В. І., Олійниченко Е. К., Бойко Е. А., Задирихіна О. А. Обґрунтування перспективності використання кандидатних поліморфізмів у маркерній селекції української м'ясної породи свиней. *Науково-технічний бюлетень Інституту тваринництва НААН*. 2020. № 123, С. 149–156. doi: 10.32900/2312-8402-2020-123-149-156

41. Budakva Y. O., Zinoviev S. H., Manyunenko S. A. The effect of the MC₄R genotype on boar odor and fattening productivity in immunologically castrated and uncastrated gilts. *Publishing House "Baltija Publishing"*, 2022. doi: 10.30525/978-9934-26-238-8-19

42. Nitrogen excretion at different stages of growth and its association with production traits in growing pigs / M. Shirali et al. *J. Anim. Sci.* 2012. Vol. 90. Is. 6. P. 1756–1765. doi: 10.2527/jas.2011-4547

43. Canario L., Lundgren H., Haandlykken M., Rydhmer L. Genetics of growth in piglets and the association with homogeneity of body weight within litters. *J. Anim. Sci.* 2010. Vol. 88. Is. 4. P. 1240–1247. doi: 10.2527/jas.2009-2056

44. Shirali M. Improvement of energy and nitrogen utilisation in pork production : genetics and growth models : PhD thesis, 2014. Wageningen: Wageningen University. URL: <https://edepot.wur.nl/295695> (date of access: 12.02.2023).

45. Muscle characteristics and meat quality traits are affected by divergent selection on residual feed intake in pigs / L. Lefaucheur et al. *J. Anim. Sci.* 2011. Vol. 89. Is. 4. P. 996–1010. doi: 10.2527/jas.2010-3493

46. Growth potential, but not body weight or moderate limitation of lysine intake, affects inevitable lysine catabolism in growing pigs / S. Moehn. *J. Nutr.* 2004. Vol. 134. Is. 9. P. 2287–2292. doi: 10.1093/jn/134.9.2287
47. Evidence of decreased muscle protein turnover in gilts selected for low residual feed intake / S. M. Cruzen et al. *Journal of Animal Science*. 2013. Vol. 91. Is. 8. P. 4007–4016. doi: 10.2527/jas.2013-6413
48. Kyriazakis I., Dotas D., Emmans G. C. The effect of breed on the relationship between feed composition and the efficiency of protein utilization in pigs. *Br. J. Nutr.* 1994. Vol. 71. Is. 6. P. 849–859. doi: 10.1079/bjn19940191
49. Susenbeth A., Dickel T., Diekenhorst A., Hühler D. The effect of energy intake, genotype, and body weight on protein retention in pigs when dietary lysine is the first-limiting factor. *J. Anim. Sci.* 1999. Vol. 77. Is. 11. P. 2985–2989. doi: 10.2527/1999.77112985x
50. Millet S., Gielkens K., De Brabander D., Janssens G. P. J. Considerations on the performance of immunocastrated male pigs. *Animal*. 2011. Vol. 5. Is. 07. P. 1119–1123. doi: 10.1017/s1751731111000140
51. The effect of GnRH vaccination on performance, carcass, and meat quality and hormonal regulation in boars, barrows, and gilts / A. Van den Broeke et al. *J Anim Sci*. 2016. Vol. 94. Is. 7. P. 2811–2820. doi: 10.2527/jas.2015-0173.
52. Campbell R., King R. The influence of dietary protein and level of feeding on the growth performance and carcass characteristics of entire and castrated male pigs. *Animal Science*. 1982. Vol. 35. Is. 2. P. 177–184. doi: 10.1017/S0003356100027331
53. Campbell R. G., Dunkin A. C. The influence of protein nutrition in early life on growth and development of the pig. 1. Effects on growth performance and body composition. *Br. J Nutr.* 1983. Vol. 50. Is. 3. P. 605–617. doi: 10.1079/bjn19830132
54. Campbell R., Taverner M., Curic D. Effects of sex and energy intake between 48 and 90 kg live weight on protein deposition in growing pigs. *Animal Production*. 1985. Vol. 40. Is. 3. P. 497–503. doi: 10.1017/S0003356100040198
55. Quiniou N., Noblet J. Prediction of tissular body composition from protein and lipid deposition in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 1995. Vol. 73. Is. 6. P. 1567–1575. doi: 10.2527/1995.7361567x
56. Ghimire S., Pomar C., Remus A. Variation in protein content and efficiency of lysine utilisation in growing-finishing pigs. In Skomiai J., Lapierre H. (ed.) *Energy and protein metabolism and nutrition*. Wageningen, Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2016. P. 351–352.
57. Möhn S., Gillis A. M., Moughan P. J., de Lange C. F. Influence of dietary lysine and energy intakes on body protein deposition and lysine utilization in the growing pig. *J. Anim. Sci.* 2000. Vol. 78. Is. 6. P. 1510–1519. doi: 10.2527/2000.7861510x
58. Van Meensel J., Lauwers L., Van Huylenbroeck G. Communicative diagnosis of cost-saving options for reducing nitrogen emission from pig finishing. *J. Environ. Manage.* 2010. Vol. 91. Is. 11. P. 2370–2377. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.06.026
59. Wagner J. R., Schinckel A. P., Chen W., Forrest J. C., Coe B. L. Analysis of body composition changes of swine during growth and development. *J. Anim. Sci.* 1999. Vol. 77. Is. 6. P. 1442–1466. doi: 10.2527/1999.7761442x

60. Effects of slaughter weight on carcass composition and meat quality in pigs of two different growth rates / J. A. Correa et al. *Meat Sci.* 2006. Vol. 72. Is. 1. P. 91–99. doi: 10.1016/j.meatsci.2005.06.006
61. Serrano M. P., Valencia D. G., Fuentetaja A., L6zaro R., Mateos G. G. Effect of gender and castration of females and slaughter weight on performance and carcass and meat quality of Iberian pigs reared under intensive management systems. *Meat. Sci.* 2008. Vol. 80. Is. 4. P. 1122–1128. doi: 10.1016/j.meatsci.2008.05.005
62. Kim D.-G., Hernandez-Ramirez G., Giltrap D. Linear and nonlinear dependency of direct nitrous oxide emissions on fertilizer nitrogen input: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 2013. Vol. 168. P. 53–65. doi: 10.1016/j.agee.2012.02.021
63. Montalvo G., Morales J., Piceiro C., Godbout S., Bigeriego M. Effect of different dietary strategies on gas emissions and growth performance in post-weaned piglets. *Spanish J. of agricultural research.* 2013. Vol. 11. № 4. P. 1016–1027. doi: 10.5424/sjar/2013114-3185
64. Effect of dietary restrictions on growth performance and carcass quality of pigs selected for lean growth efficiency / L. Chiba et al. *Livestock Production Scie.* 2002. Vol. 74. Is. 1. P. 93–102. doi:10.1016/s0301-6226(01)00288-3
65. Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Flows through the Manure Management Chain in China / Z. Bai et al. *Environmental Sci. & Technology.* 2016. Vol. 50. Is. 24. P. 13409–13418. doi: 10.1021/acs.est.6b03348
66. Low-Protein Diets Decrease Porcine Nitrogen Excretion but with Restrictive Effects on Amino Acid Utilization / L. Wu et al. *J. Agric. Food. Chem.* 2018. Vol. 66. Is. 31. P. 8262–8271. doi: 10.1021/acs.jafc.8b03299
67. Effect of different dietary protein levels and amino acids supplementation patterns on growth performance, carcass characteristics and nitrogen excretion in growing-finishing pigs / Y. Zhao et al. *J. Animal Sci. Biotechnol.* 2019. Vol. 10. P. 75–85. doi: 10.1186/s40104-019-0381-2
68. Canh T. T., Aarnink A. J., Verstegen M. W., Schrama J. W. Influence of dietary factors on the pH and ammonia emission of slurry from growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 1998. Vol. 76. Is. 4. P. 1123–1130. doi: 10.2527/1998.7641123x
69. Lynch M. B., Sweeney T., Callan B., Flynn J. J., O'Doherty J. V. The effect of high and low dietary crude protein and inulin supplementation on nutrient digestibility, nitrogen excretion, intestinal microflora and manure ammonia emissions from finisher pigs. *Animal.* 2007. Vol. 1. Is. 8. P.1112–1121. doi: 10.1017/S1751731107000407
70. Feilberg A., Sommer S. G. Ammonia and malodorous gases: sources and abatement technologies. In *Animal Manure Recycling: Treatment and Management*, 2013 doi: 10.1002/9781118676677.ch9
71. Pardo G., Moral R., Aguilera E., Del Prado A. Gaseous emissions from management of solid waste : a systematic review. *Glob Chang Biol.* 2015. Vol. 21. Is. 3. P. 1313–1327. doi: 10.1111/gcb.12806
72. Le P. D., Aarnink A. J. A., Jongbloed A. W. Odour and ammonia emission from pig manure as affected by dietary crude protein level. *Livestock Science.* 2009. Vol. 121. Is. 2–3. P. 267–274. doi: 10.1016/j.livsci.2008.06.021
73. Defu Yu., Weiyun Zhu., Suqin H. Effects of low-protein diet on the intestinal morphology, digestive enzyme activity, blood urea nitrogen, and gut

microbiota and metabolites in weaned pigs. *Archives of Animal Nutrition*. 2019. Vol. 73. Is. 4. P. 287–305. doi: 10.1080/1745039X.2019.1614849

74. Wu G. Dietary requirements of synthesizable amino acids by animals: a paradigm shift in protein nutrition. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2014. Vol. 5. Article 34. doi: 10.1186/2049-1891-5-34

75. van Vuuren A. M., Pineiro C., van der Hoek K. W., Oenema O. Economics of Low Nitrogen Feeding Strategies. In Reis, S., Howard, C., Sutton, M. (eds) *Costs of Ammonia Abatement and the Climate Co-Benefits*. Springer. Dordrecht. 2015. doi: 10.1007/978-94-017-9722-1_3

76. Evaluating the potential of dietary crude protein manipulation in reducing ammonia emissions from cattle and pig manure: A meta-analysis / E. P. M. Sajeev et al. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2018. Vol. 110. P. 161–175. doi: 10.1007/s10705-017-9893-3

77. Зінов'єв С. Г., Семенов С. О., Пушкіна М. Л. Оптимізація якості і рівня протеїну в раціонах свиней для зменшення екскреції нітрогену при виробництві свинини. *Свинарство : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2021. Вип. 75–76. С. 112–125* doi: 10.37143/0371-4365-2021-75-76-11

78. Hansen, C. F., Sørensen, G., Lyngbye, M. Reduced diet crude protein level, benzoic acid and inulin reduced ammonia, but failed to influence odour emission from finishing pigs. *Livestock Science*. 2007. 109(1–3), 228–231. doi:10.1016/j.livsci.2007.01.133

79. Advances in low-protein diets for swine / Y. Wang et al. *J. Animal Sci. Biotechnol.* 2018. Vol. 9. Article 60. doi: 10.1186/s40104-018-0276-7

80. Mou Q., Yang H.-S., Yin Y.-L., Huang P.-F. Amino Acids Influencing Intestinal Development and Health of the Piglets. *Animals*. 2019. Vol. 9. P. 302. doi: 10.3390/ani9060302

81. Application of Phase Feeding in Swine Production / I. K. Han et al. *J. of Applied Animal Research*. 2000. Vol. 17. Is. 1. P. 27–56. doi: 10.1080/09712119.2000.9706290

82. Can dietary manipulations improve the productivity of pigs with lower environmental and economic cost? A global meta-analysis / H. Wang et al. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2020. Vol. 289. Article 106748. doi: 10.1016/j.agee.2019.106748

83. Pomar C., Pomar J., Dubeau F., Joannopoulos E., Dussault J. P. The impact of daily multiphase feeding on animal performance, body composition, nitrogen and phosphorus excretions, and feed costs in growing-finishing pigs. *Animal*. 2014. Vol. 8. Is. 5. P. 704–713. doi: 10.1017/S1751731114000408

84. Effect of slaughter weight and sex on carcass composition, N- and P-efficiency of pigs / Van den Broeke A. et al. *Paper presented at the 68th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP)*, 28 August to 1 September 2017, Tallinn, Estonia, 2017. URL: <https://pureportal.ilvo.be/nl/publications/effect-of-slaughter-weight-and-sex-on-carcass-composition-and-n-a>

85. Mansilla W. D., Columbus D. A., Htoo J. K., de Lange C. F. Nitrogen Absorbed from the Large Intestine Increases Whole-Body Nitrogen Retention in Pigs Fed a Diet Deficient in Dispensable Amino Acid Nitrogen. *The J. of Nutrition*. 2015. Vol. 145. Is. 6. P. 1163–1169. doi: 10.3945/jn.115.212316

86. Amino Acids in Swine Nutrition and Production / Q. Zhang et al. *Amino Acids in Nutrition and Health. Advances in Experimental Medicine and Biology* / Wu G. (ed). 2021. Vol. 1285. Springer, Cham. P. 88–107. doi: 10.1007/978-3-030-54462-1_6
87. Effect of the ratio between essential and nonessential amino acids in the diet on utilization of nitrogen and amino acids by growing pigs / N. P. Lenis et al. *J. Anim Sci.* 1999. Vol. 77. Is. 7. P. 1777–1787. doi: 10.2527/1999.7771777x
88. Schweer W. P. Amino acid requirements of health challenged pigs. (Graduate Dissertations). 2018. 188 p. URL: <https://lib.dr.iastate.edu/etd/16459> (date of access: 10.02.2023).
89. Mitchell J. R., Becker Jr., D. E., Harmon B. G., Norton H. W., Jensen A. H., Some Amino Acid Needs of the Young Pig Fed a Semisynthetic Diet. *J. of Animal Sci.* 1968. Vol. 27. Is. 5. P. 1322–1326. doi: 10.2527/jas1968.2751322x
90. Per T., Sloth N. M., Kjeldsen N., Blaabjerg K. Danish nutrient standards. 32nd edition / Seges Danish Pig Research Centre. Danish, 2021. 14 p. URL: https://pigresearchcentre.dk/-/media/PDF/English-site/Research_PDF/Nutrition-tandards/Foder_Naeringsstoffer_Normer_for_naeringsstoffer2_uk.aspx (date of access: 23.01.2023).
91. Per T., Sloth N. M., Kjeldsen N., Shooter L. Danish nutrient standards. 28nd edition / Seges Danish Pig Research Centre. Danish, 2018. 14 p. URL: <https://docplayer.net/130899474-Danish-nutrient-standards.html>
92. Impact of PRRSV infection and dietary soybean meal on ileal amino acid digestibility and endogenous amino acid losses in growing pigs / W. P. Schweer et al. *J. of Animal Sci.* 2018. Vol. 96. Is. 5. P. 1846–1859. doi: 10.1093/jas/sky093
93. Nyachoti C. M., Omogbenigun F. O., Rademacher M., Blank G. Performance responses and indicators of gastrointestinal health in early-weaned pigs fed low-protein amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 2006. Vol. 84. Is. 1. P. 125–134. doi: 10.2527/2006.841125x
94. Зінов'єв С. Г., Біндюг Д. О. Фізіологічна та економічна мотивація використання білкових кормів при вирощуванні свиней. *Свинарство* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2016. Вип. 68. С. 108–122
95. Зінов'єв С. Г., Біндюг Д. О., Манюненко С. А. Засвоєння поживних речовин корму за умов використання функціональної кормової добавки. *Свинарство* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2017. Вип. 69. С. 176–187.
96. Systematic review and meta-analysis of the effect of feed enzymes on growth and nutrient digestibility in grow-finisher pigs: effect of enzyme type and cereal source / A. Torres-Pitarch et al. *Animal Feed Sci. and Technology.* 2018. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.12.007
97. Zouaoui M., Lйtourneau-Montminy M. P., Guay, F. Effect of phytase on amino acid digestibility in pig: A meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology.* 2018. Vol. 238. P. 18–28. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.01.019
98. Effects of fermented soybean meal and specialty animal protein sources on nursery pig performance / C. K. Jones et al. *J. of Animal Sci.* 2010. Vol. 88. Is. 5. P. 1725–1732, doi: 10.2527/jas.2009-2110

99. Effect of different protein sources on growth and carcass traits in growing-finishing pigs / J. L. Shelton et al. *J. of Animal Sci.* 2001. Vol. 79. Is. 9. P. 2428–2435. doi: 10.2527/2001.7992428x
100. Ferguson N., Gous R., Emmans G. Predicting the effects of animal variation on growth and food intake in growing pigs using simulation modelling. *Animal Sci.* 1997. Vol. 64. Is. 3. P. 513–522. doi: 10.1017/S1357729800016143
101. Pomar C., Kyriazakis I., Emmans G. C., Knap P. W. Modeling stochasticity : Dealing with populations rather than individual pigs. *J. of Animal Sci.* 2003. Vol. 81. Is. 14. Suppl 2. P. E178–E186. doi: 10.2527/2003.8114_suppl_2E178x
102. Feeding behavior of growing-finishing pigs reared under precision feeding strategies / I. Andretta et al. *J. Anim. Sci.* 2016. Vol. 94. Is. 7. P. 3042–3050. doi: 10.2527/jas.2016-0392
103. Pigs receiving daily tailored diets using precision-feeding techniques have different threonine requirements than pigs fed in conventional phase-feeding systems / A. Remus et al. *J. Animal Sci. Biotechnol.* 2019. Vol. 10. Article 16. doi: 10.1186/s40104-019-0328-7
104. Pomar C., Remus A., Precision pig feeding: a breakthrough toward sustainability. *Animal Frontiers.* 2019. Vol. 9, Is. 2. P. 52–59. doi: 10.1093/af/vfz006
105. Determination of True Ileal Amino Acid Digestibility in the Growing Pig for Calculation of Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS) / S. M. Hodgkinson et al. *The J. of Nutrition.* Vol. 150, Is. 10. P. 2621–2623. doi: 10.1093/jn/nxaa210
106. Changes in Pig Production in China and Their Effects on Nitrogen and Phosphorus Use and Losses / Z. H. Bai et al. *Environmental Science & Technology.* 2014. Vol. 48. Is. 21. P. 12742–12749. doi: 10.1021/es502160v
107. Kerr B. J., Weber T. E., Miller P. S., Southern L. L. Effect of phytase on apparent total tract digestibility of phosphorus in corn-soybean meal diets fed to finishing pigs. *J. of Animal Sci.* 2010. Vol. 88. Is. 1. P. 238–247. doi: 10.2527/jas.2009-2146
108. Effect of feed intake level on the determination of apparent and standardized total tract digestibility of phosphorus for growing pigs / J. B. Liu et al. *Animal Feed Sci. and Technology.* 2018. Vol. 246. P. 137–143. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.10.012
109. Schemmer R., Spillner C., Съдекум К.-Н. Phosphorus digestibility and metabolisable energy concentrations of contemporary wheat, barley, rye and triticale genotypes fed to growing pigs. *Archives of Animal Nutrition.* 2020. Vol. 74. Is. 6. P. 429–444. doi: 10.1080/1745039X.2020.1817695
110. Фоломеев В. З., Смыслов С. Ю., Бейдик Н. М. Технологіко-економічні проблеми промислового свинарства. *Свинарство: міжвідом. темат. зб. / Ін-т свинарства ім. О. В. Квасницького УААН. Полтава, 2008. Вип. 56. С. 115–119.*
111. Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from different types of dairy manure during storage as affected by dietary protein content / D. Külling et al. *The J. of Agricultural Science.* 2001. Vol. 137. Is. 2. P. 235–250. doi: 10.1017/S0021859601001186
112. Mitigation of Global Warming Potential for Cleaner Composting / M. K. Awasthi et al. In *Varjani S., Parameswaran B., Kumar S., Khare S. (eds).*

Biosynthetic Technology and Environmental Challenges. Singapore: Springer, 2018. P. 271–305. doi: 10.1007/978-981-10-7434-9_16

113. Composting with negative pressure aeration for the mitigation of ammonia emissions and global warming potential / X. Wang et al. *J. Clean. Prod.* 2018. Vol. 195. P. 448–457. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.146

114. Hargreaves J., Adl M., Warman P. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2008. Vol. 123. Is. 1–3. P. 1–14. doi: 10.1016/j.agee.2007.07.004

115. Tong B., Wang X., Wang S., Ma L., Ma W. Transformation of nitrogen and carbon during composting of manure litter with different methods. *Bioresour Technol.* 2019. Vol. 293. Article 122046. doi: 10.1016/j.biortech.2019.122046

116. Bernal M. P., Albuquerque J. A., Moral R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresour Technol.* 2009. Vol. 100. Is. 22. P. 5444–5453. doi: 10.1016/j.biortech.2008.11.027

117. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects / C. O. Onwosi et al. *J. Environ Manage.* 2017. Vol. 1. Is. 190. P. 140–157. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.12.051

118. Acidification of manure reduces gaseous emissions and nutrient losses from subsequent composting process / Y. Cao et al. *J. Environ Manage.* 2020. Vol. 15. Is. 264. Article 110454. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110454.

119. Influence of moisture content on chicken manure stabilization during microbial agent-enhanced composting / M.-X. Li et al. *Chemosphere*. 2020. Vol. 264. Article 128549. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128549

120. Walling E., Vaneeckhaute C. Greenhouse gas emissions from inorganic and organic fertilizer production and use: A review of emission factors and their variability. *J. of Environmental Management*. 2020. Vol. 276. Article 111211. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111211

121. Lim S. L., Lee L. H., Wu T. Y. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *J. of Cleaner Production*. 2016. Vol. 111. P. 262–278. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.08.083

122. Mitigation of carbon and nitrogen losses during pig manure composting: A meta-analysis / Z. Zhang et al. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 783. Article 147103. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147103

123. Current Approaches and Future Trends in Compost Quality Criteria for Agronomic / M. P. Bernal et al. *Environmental, and Human Health Benefits*. 2017. Vol 144. P. 143–233. doi: 10.1016/bs.agron.2017.03.002

124. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions during solid waste composting with different additives: A meta-analysis / Y. Cao et al. *J. of Cleaner Production*. 2019. Vol. 235. P. 626–635. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.288

125. Cao Y, Wang J, Huang H, Sun E, Butterly C, Xu Y, He H, Zhang J, Chang Z. Spectroscopic evidence for hyperthermophilic pretreatment intensifying humification during pig manure and rice straw composting. *Bioresour Technol.* 2019, 294, 122131. doi: 10.1016/j.biortech.2019.122131

126. Swine manure valorization for phosphorus and nitrogen recovery by catalytic–thermal hydrolysis and struvite crystallization / T. Zhang et al. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 774. Article 138999. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.1389

127. Improvement of Co-Composting by a combined pretreatment Ozonation / Ultrasonic process in stabilization of raw activated sludge / H. Dastpak et al. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. Is. 1. doi: 10.1038/s41598-020-58054-y

REFERENCES

1. Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC. Retrived from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L2284&rid=9> (date of access: 23.02.2023).
2. Pinchuk, V. O. (2015). Emisiia parnykovykh haziv u haluzi tvarynnytstva Ukrainy [Emission of greenhouse gases in the livestock industry of Ukraine]. *Bioresursy i pryrodokorystuvannya* [Bioresources and nature management]. Kyiv, 7(1–2), 115–118. Retrived from <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Bio/article/view/6350/6242> [in Ukrainian] (date of access: 23.02.2023).
3. Liashenko, M. V. (2018). Ekolohichna paradyhma lokalizatsii vyrobnytstva produktsii tvarynnytstva. Investytsii: praktyka ta dosvid [Ecological paradigm of localization of livestock production. Investments: practice and experience]. *Investytsiyi: praktyka ta dosvid*, 11, 70–75. Retrived from http://nbuv.gov.ua/UJRN/ipd_2018_11_14 [in Ukrainian] (date of access: 23.02.2023).
4. Mokliachuk, L. I., Zhukorskyi, O. M., Pinchuk, V. O., Mineralov, O. I., Keivan, O.P. ... & Marchenko, O.A. (2012). Ahroekolohichna otsinka vykydiv spoluk aktyvnoho azotu u sektori silskoho hospodarstva Ukrayiny [Agroecological assessment of emissions of active nitrogen compounds in the agricultural sector of Ukraine]. *Ahroekolohichnyy zhurnal*, 2, 36–42. Retrived from https://elibrary.ru/download/elibrary_21141796_41421944.pdf [in Ukrainian] (date of access: 23.02.2023).
5. Akamati, K., Laliotis, G. P., & Bizelis, I. (2022). Comparative Assessment of Greenhouse Gas Emissions in Pig Farming Using Tier Inventories. *Environments*, 9(5), 59. doi: 10.3390/environments9050059
6. MacLeod, M., Gerber, P., Mottet, A., Tempio, G., Falcucci, A., Opio, C., Vellinga, T. ... & Steinfeld, H. (2013). *Greenhouse Gas Emissions from Pig and Chicken Supply Chains - A Global Life Cycle Assessment*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013, Rome, Italy. Retrived from <https://www.fao.org/publications/card/en/c/5b311af3-e5c4-5fc3-95d2-7200bf77061e/> (date of access: 23.02.2023).
7. Wang, M., Ma, L., Strokal, M., Ma, W., Liu, X., & Kroeze, C. (2018). Hotspots for Nitrogen and Phosphorus Losses from Food Production in China: a County-scale Analysis. *Environmental Science & Technology*, 52(10), 5782–5791. doi: 10.1021/acs.est.7b06138.
8. Flachowsky, G., & Kamphues, J. (2012). Carbon Footprints for Food of Animal Origin: What are the Most Preferable Criteria to Measure Animal Yields? *Animals*, 2(2), 108–126. doi: 10.3390/ani2020108

9. Amon, B., Amon, T., Boxberger, J., & Alt, C. (2001). Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60(1/3), 103–113. doi: 10.1023/a:1012649028772
10. Oenema, O. & Tamminga, S. (2005). Nitrogen in global animal production and management options for improving nitrogen use efficiency. *Science in China. Series C, Life sciences / Chinese Academy of Sci.*, 48(2), 871–887. doi: 10.1007/BF03187126
11. Heger, J., Mengesha, S., & Vodehnal, D. (1998). Effect of essential:total nitrogen ratio on protein utilization in the growing pig. *British J. of Nutrition*, 80(06), 537–544. doi: 10.1017/s0007114598001639
12. MacLeod, M. J., Vellinga, T., Opio, C., Falcucci, A., Tempio, G., Henderson, B., Makkar, H., ... & Gerber, P. J. (2018). Invited review : a position on the global livestock environmental assessment model (GLEAM). *Animal*, 12, 383–397. doi: 10.1017/S1751731117001847
13. Gerber, P., Robinson, T., Wassenaar, T., & Steinfeld, H., (2010). Livestock in geographical transition. In *Steinfeld, H., Harold, A.M., Fritz, S., Laurie, E.N. (Eds.), Livestock in a Changing Landscape, Drivers, Consequences and Responses*. Island Press, Washington, Covelo, London, 51–66.
14. World Livestock : Livestock in Food Security, Livestock in Food Security / Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, Italy, 2011. Retrived from <https://www.fao.org/3/i2373e/i2373e.pdf> (date of access: 12.02.2023).
15. Global Food Losses and Food Waste – Extent, Causes and Prevention / Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, Italy, 2011. Retrived from https://reliefweb.int/report/world/global-food-losses-and-food-waste-extent-causes-and-prevention?gclid=Cj0KCQiAutyfBhCMARIsAMgcRJSq8pt22FXG-t5Y2Tyh6KctP2zLAVBiGyDYkTWtIIUIUoPT2-0cKc4aAtCREALw_wcB (date of access: 12.02.2023).
16. Zhukorskyi, O. M., & Nykyforuk, O. V. (2013). Haluz svynarstva – realna ta prohnzovana zahroza dlia dovkillia [The pig industry is a real and predictable threat to the environment]. *Agroecological journal*, 3, 102–107 [in Ukrainian].
17. Zhukorskyi, O. M., Nykyforuk, O. V., & Boltyk, N. P. (2013). Otsinka vykydiv odorohennykh zabrudnyuvachiv povitria vid ferm iz vyrobnytstva moloka [Estimation of emissions of orogenic air pollutants from milk production farms]. *Agroecological journal*, 2, 21–26 [in Ukrainian].
18. Hamilton, H. A., Ivanova, D., Stadler, K., Merciai, S., Schmidt, J., van Zelm, R., Moran, D., & Wood, R., (2018). Trade and the role of non-food commodities for global eutrophication. *Nat. Sustain.* 1, 314–321. doi: 10.1038/s41893-018-0079-z
19. Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987–992. doi: 10.1126/science.aag0216
20. Steffen, W., Richardson, K., Rockstrom, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., & Sorlin, S. (2015). Planetary boundaries : Guiding human

development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855–1259855. doi: 10.1126/science.1259855

21. Bodirsky, B. L., Popp, A., Lotze-Campen, H., Dietrich, J. P., Rolinski, S., Weindl, I., Schmitz, C., ... Stevanovic, M., (2014). Reactive nitrogen requirements to feed the world in 2050 and potential to mitigate nitrogen pollution. *Nat. Commun.*, 5, 3858. doi: 10.1038/ncomms4858

22. Galloway, J. N., Aber, J. D., Erisman, J. W., Seitzinger, S. P., Howarth, R. W., Cowling, E. B., & Cosby, B. J. (2003). The nitrogen cascade. *BioScience*, 53, 341–356. doi: 10.1641/0006-3568(2003)053(0341:TNC)2.0.CO;2.

23. Uwizeye, A., Gerber, P. J., Opio, C. I., Tempio, G., Mottet, A., Makkar, H. P. S. & de Boer, I. J. M. (2019). Nitrogen flows in global pork supply chains and potential improvement from feeding swill to pigs. *Resources. Conservation and Recycling*, 146, 168–179. doi: 10.1016/j.resconrec.2019.03.032

24. Leip, A., Weiss, F., Lesschen, J. P., & Westhoek, H. (2014). The nitrogen footprint of food products in the European Union. *The J. of Agricultural Sci.*, 152(S1), 20–33. doi: 10.1017/s0021859613000786

25. Leip, A., Leach, A., Musinguzi, P., Tumwesigye, T., Olupot, G., Stephen Tenywa, J., & Galloway, J. (2014). Nitrogen-neutrality : a step towards sustainability. *Environmental Research Letters*, 9(11), 115001. doi: 10.1088/1748-9326/9/11/115001

26. Millet, S., Aluwǎ, M., Van den Broeke, A., Leen, F., De Boever, J., & De Campeneere, S. (2017). Review: Pork production with maximal nitrogen efficiency. *Animal*, 12(05), 1060–1067. doi: 10.1017/s1751731117002610

27. Andretta, I., Pomar, C., Rivest, J., Pomar, J., & Radǎnz, J. (2016). Precision feeding can significantly reduce lysine intake and nitrogen excretion without compromising the performance of growing pigs. *Animal*, 10(7), 1137–1147. doi: 10.1017/s1751731115003067

28. National Research Council (2012). Nutrient Requirements of Swine : Eleventh Revised Edition. Washington, DC : The National Academies Press. doi: 10.17226/13298

29. Zelenskaya, K. N. (1966). Perevarimost pitatelnykh veshchestv i obmen azota, kal'tsiya i fosfora u plemennykh sviney krupnoy beloy porody i landras [Nutrient digestibility and metabolism of nitrogen, calcium and phosphorus in Large White and Landrace breeding pigs]. *Zhivotnovodstvo*, 4, 74–75 [in Russian].

30. Kabanov, V. D., Gunalov, N. V. (1978). Feed utilization by pigs of different genotypes depending on the level of protein nutrition [Ispolzovaniye korma svinyami raznykh genotipov v zavisimosti ot urovnya proteinovogo pitaniya]. *Zhivotnovodstvo*, 4, 52–53 [in Russian]

31. Boisen, S., & Moughan, P. J. (1996). Different expressions of dietary protein and amino acid digestibility in pig feeds and their application in protein evaluation : A theoretical approach. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*, 46, 165–172 doi: 10.1080/09064709609415867.

32. Beccaccia, A., Cerisuelo, A., Calvet, S., Ferrer, P., Estellǎs, F., De Blas, C., & Garcıa-Rebollar, P. (2015). Effects of nutrition on digestion efficiency and gaseous emissions from slurry in growing pigs: II. Effect of protein source in

practical diets. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 137–144. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2015.07.021

33. Galassi, G., Malagutti, L., Colombini, S., Rapetti, L., Gallo, L., Schiavon, S., ... & Crovetto, G. M. (2015). Nitrogen and Energy Partitioning in Two Genetic Groups of Pigs Fed Low-Protein Diets at 130 kg Body Weight. *Italian J. of Animal Sci.*, 14(3), 4012. doi: 10.4081/ijas.2015.4012

34. Lewis, A. J. (1992). Determination of the Amino Acid Requirements of Animals. *Modern Methods in Protein Nutrition and Metabolism*, 67–85. doi: 10.1016/b978-0-12-519570-6.50007-3

35. Van Milgen, J., & Dourmad, J.-Y. (2015). Concept and application of ideal protein for pigs. *J. of Animal Sci. and Biotechnology*, 6(1), 15. doi: 10.1186/s40104-015-0016-1

36. Ding, R., Yang, M., Wang, X., Quan, J., Zhuang, Z., Zhou, S., Li, S. ... & Wu, Z. (2018). Genetic Architecture of Feeding Behavior and Feed Efficiency in a Duroc Pig Population. *Front Genet.*, 9, 220. doi: 10.3389/fgene.2018.00220

37. Mote, B. E., & Rothschild, M. F. (2020). Modern genetic and genomic improvement of the pig. *Animal Agriculture*, 249–262. doi: 10.1016/b978-0-12-817052-6.00014-8

38. Balatsky, V., Bankovska, I., & Saienko, A., (2016). Association between leptin receptor gene polymorphism and quality of both meat and back fat in large white pigs of ukrainian breeding, *Agric. Sci. Pract.*, 3(2), 42–48. doi: 10.15407/agrisp3.02.042

39. Balatsky, V. N., Oliinychenko, Y. K., Saienko, A. M., Buslyk, T. V., Bankovska, I.B., & Peka, M. Yu. (2022). Associations of Polymorphisms in Leptin and Leptin Receptor Genes with Meat Quality in Pigs of the Ukrainian Large White Breed. *Cytol. Genet.*, 56, 513–525. doi: 10.3103/S0095452722060020

40. Rossokha, V. I., Oliinichenko, Y. K., Boiko, O. A., & Zaderikhina, O. A. (2020) Obgruntuvannia perspektyvnosti vykorystannia kandydatnykh polimorfizmiv u markernii selektsii ukrayinskoi miasnoi porody svynei [Justification of candidate polymorphisms usage in marker-assisted selection of ukrainian meaty pig breed]. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten Instytutu tvarynnyctva NAAN* [Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Animal Science of the National Academy of Agrarian Science of Ukraine]. Kharkiv, 123, 149–156. doi: 10.32900/2312-8402-2020-123-149-156

41. Budakva, Y. O., Zinoviev, S. H., & Maniunenko, S. A. (2022). The effect of the MC4R genotype on boar odor and fattening productivity in immunologically castrated and uncastrated gilts. *Publishing House "Baltija Publishing"*. doi: 10.30525/978-9934-26-238-8-19

42. Shirali, M., Doeschl-Wilson, A., Knap, P. W., Duthie, C., Kanis, E., van Arendonk, J. A. M., & Roehe, R. (2012). Nitrogen excretion at different stages of growth and its association with production traits in growing pigs. *J. of Animal Sci.*, 90(6), 1756–1765. doi: 10.2527/jas.2011-4547

43. Canario, L., Lundgren, H., Haandlykken, M., & Rydhmer, L. (2010). Genetics of growth in piglets and the association with homogeneity of body weight within litters. *J. Anim. Sci.* 88(4), 1240–1247. doi: 10.2527/jas.2009-2056

44. Shirali, M. (2014). Improvement of energy and nitrogen utilisation in pork production: genetics and growth models. (PhD thesis). Wageningen University, Wageningen, the Netherlands. Retrived from <https://edepot.wur.nl/295695> (date of access: 12.02.2023).
45. Lefaucheur, L., Lebret, B., Ecolan, P., Louveau, I., Damon, M., Prunier, A., ... Gilbert, H. (2011). Muscle characteristics and meat quality traits are affected by divergent selection on residual feed intake in pigs. *J. of Animal Sci.*, 89(4), 996–1010. doi: 10.2527/jas.2010-3493
46. Moehn, S., Ball, R. O., Fuller, M. F., Gillis, A. M., & de Lange, C. F. M. (2004). Growth Potential, but Not Body Weight or Moderate Limitation of Lysine Intake, Affects Inevitable Lysine Catabolism in Growing Pigs. *The J. of Nutrition*, 134(9), 2287–2292. doi: 10.1093/jn/134.9.2287
47. Cruzen, S. M., Harris, A. J., Hollinger, K., Punt, R. M., Grubbs, J. K., Selsby, J. T., ... Huff-Lonergan, E. (2013). Evidence of decreased muscle protein turnover in gilts selected for low residual feed intake1. *J. of Animal Sci.*, 91(8), 4007–4016. doi: 10.2527/jas.2013-6413
48. Kyriazakis, I., Dots, D., & Emmans, G. C. (1994). The effect of breed on the relationship between feed composition and the efficiency of protein utilization in pigs. *British J. of Nutrition*, 71(06), 849–859. doi: 10.1079/bjn19940191
49. Susenbeth, A., Dickel, T., Diekenhorst, A., & Hühler, D. (1999). The effect of energy intake, genotype, and body weight on protein retention in pigs when dietary lysine is the first-limiting factor. *J. of Animal Sci.*, 77(11), 2985–2989. doi: 10.2527/1999.77112985x
50. Millet, S., Gielkens, K., De Brabander, D., & Janssens, G. P. J. (2011). Considerations on the performance of immunocastrated male pigs. *Animal*, 5(07), 1119–1123. doi: 10.1017/s1751731111000140
51. Van den Broeke, A., Leen, F., Aluwñ, M., Ampe, B., Van Meensel, J., & Millet, S. (2016). The effect of GnRH vaccination on performance, carcass, and meat quality and hormonal regulation in boars, barrows, and gilts1. *J. of Animal Sci.*, 94(7), 2811–2820. doi: 10.2527/jas.2015-0173
52. Campbell, R., & King, R. (1982). The influence of dietary protein and level of feeding on the growth performance and carcass characteristics of entire and castrated male pigs. *Animal Science*, 35(2), 177–184. doi: 10.1017/S0003356100027331
53. Campbell, R. G., & Dunkin, A. C. (1983). The influence of protein nutrition in early life on growth and development of the pig. 1. Effects on growth performance and body composition. *Br. J. Nutr.*, 50(3), 605–617. doi: 10.1079/bjn19830132
54. Campbell, R., Taverner, M., & Curic, D. (1985). Effects of sex and energy intake between 48 and 90 kg live weight on protein deposition in growing pigs. *Animal Production*, 40(3), 497–503. doi: 10.1017/S0003356100040198
55. Quiniou, N., & Noblet, J. (1995). Prediction of tissular body composition from protein and lipid deposition in growing pigs1. *J. of Animal Sci.*, 73(6), 1567–1575. doi: 10.2527/1995.7361567x
56. Ghimire S, Pomar C, Remus A. (2016). Variation in protein content and efficiency of lysine utilisation in growing-finishing pigs. In *Skomiai J., Lapierre*

H. (eds). *Energy and protein metabolism and nutrition*. Wageningen, Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 351–352.

57. Möhn, S., Gillis, A. M., Moughan, P. J., & de Lange, C. F. (2000). Influence of dietary lysine and energy intakes on body protein deposition and lysine utilization in the growing pig. *J. of Animal Sci.*, 78(6), 1510–1519. doi: 10.2527/2000.7861510x

58. Van Meensel, J., Lauwers, L., & Van Huylbroeck, G. (2010). Communicative diagnosis of cost-saving options for reducing nitrogen emission from pig finishing. *J. of Environmental Management*, 91(11), 2370–2377. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.06.026

59. Wagner, J. R., Schinckel, A. P., Chen, W., Forrest, J. C., Coe, B. L. (1999). Analysis of body composition changes of swine during growth and development. *J. of Animal Sci.*, 77(6), 1442–1466. doi: 10.2527/1999.7761442x

60. Correa, J. A., Faucitano, L., Laforest, J. P., Rivest, J., Marcoux, M., & Gariñpy, C. (2006). Effects of slaughter weight on carcass composition and meat quality in pigs of two different growth rates. *Meat Sci.*, 72(1), 91–99. doi: 10.1016/j.meatsci.2005.06.006

61. Serrano, M. P., Valencia, D. G., Fuentetaja, A., Lózaró, R., & Mateos, G. G. (2008). Effect of gender and castration of females and slaughter weight on performance and carcass and meat quality of Iberian pigs reared under intensive management systems. *Meat Sci.*, 80(4), 1122–1128. doi: 10.1016/j.meatsci.2008.05.005

62. Kim, D.-G., Hernandez-Ramirez, G., & Giltrap, D. (2013). Linear and nonlinear dependency of direct nitrous oxide emissions on fertilizer nitrogen input : A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 168, 53–65. doi: 10.1016/j.agee.2012.02.021

63. Montalvo, G., Morales, Bermejo, J., Piceiro, C., Godbout, S., Bigeriego, M. (2013). Effect of different dietary strategies on gas emissions and growth performance in post-weaned piglets. *Spanish J. of Agricultural Research*, 11, 1016–1027. doi: 10.5424/sjar/2013114-3185

64. Chiba, L., Kuhlers, D., Frobish, L., Jungst, S., Huff-Lonergan, E., Lonergan, S., & Cummins, K. (2002). Effect of dietary restrictions on growth performance and carcass quality of pigs selected for lean growth efficiency. *Livestock Production Sci.*, 74(1), 93–102. doi: 10.1016/s0301-6226(01)00288-3

65. Bai, Z., Ma, L., Jin, S., Ma, W., Velthof, G. L., Oenema, O., ... & Zhang, F. (2016). Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Flows through the Manure Management Chain in China. *Environmental Science & Technology*, 50(24), 13409–13418. doi: 10.1021/acs.est.6b03348

66. Wu, L., Zhang, X., Tang, Z., Li, Y., Li, T., Xu, Q., Zhen, J. ... & Sun, Z. (2018). Low-Protein Diets Decrease Porcine Nitrogen Excretion but with Restrictive Effects on Amino Acid Utilization. *J. Agric. Food Chem.*, 66(31), 8262–8271. doi: 10.1021/acs.jafc.8b03299

67. Zhao, Y., Tian, G., Chen, D., Zheng, P., Yu, J., He, J., Mao, X., ... & Yu, Bing. (2019). Effect of different dietary protein levels and amino acids supplementation patterns on growth performance, carcass characteristics and nitrogen

excretion in growing-finishing pigs. *J. of Animal Sci. and Biotechnology*, 10(1), 75–85. doi: 10.1186/s40104-019-0381-2

68. Canh, T. T., Aarnink, A. J., Verstegen, M. W., & Schrama, J. W. (1998). Influence of dietary factors on the pH and ammonia emission of slurry from growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 76(4), 1123–1130. doi: 10.2527/1998.7641123x

69. Lynch, M. B., Sweeney, T., Callan, B., Flynn, J. J., & O'Doherty, J. V. (2007). The effect of high and low dietary crude protein and inulin supplementation on nutrient digestibility, nitrogen excretion, intestinal microflora and manure ammonia emissions from finisher pigs. *Animal*, 1(8). doi: 10.1017/s1751731107000407

70. Feilberg, A., & Sommer, S. G. (2013). Ammonia and Malodorous Gases: Sources and Abatement Technologies. *Animal Manure Recycling*, 153–175. doi: 10.1002/9781118676677.ch9

71. Pardo, G., Moral, R., Aguilera, E., & del Prado, A. (2014). Gaseous emissions from management of solid waste: a systematic review. *Global Change Biology*, 21(3), 1313–1327. doi: 10.1111/gcb.12806

72. Le, P. D., Aarnink, A. J. A., & Jongbloed, A. W. (2009). Odour and ammonia emission from pig manure as affected by dietary crude protein level. *Livestock Science*, 121(2–3), 267–274. doi: 10.1016/j.livsci.2008.06.021

73. Defu, Yu., Weiyun, Zhu, & Suqin, H. (2019). Effects of low-protein diet on the intestinal morphology, digestive enzyme activity, blood urea nitrogen, and gut microbiota and metabolites in weaned pigs. *Archives of Animal Nutrition*, 73(4). doi: 10.1080/1745039X.2019.1614849

74. Wu, G. (2014). Dietary requirements of synthesizable amino acids by animals: a paradigm shift in protein nutrition. *J. of Animal Sci. and Biotechnology*, 5, 34. doi: 10.1186/2049-1891-5-34

75. van Vuuren, A. M., Pineiro, C., van der Hoek, K. W., & Oenema, O. (2015). Economics of Low Nitrogen Feeding Strategies. In Reis, S., Howard, C., Sutton, M. (eds). *Costs of Ammonia Abatement and the Climate Co-Benefits*. Springer, Dordrecht. doi: 10.1007/978-94-017-9722-1_3

76. Sajeev, E. P. M., Amon, B., Ammon, C., Zollitsch, W., & Winiwarter, W. (2017). Evaluating the potential of dietary crude protein manipulation in reducing ammonia emissions from cattle and pig manure: A meta-analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 110(1), 161–175. doi: 10.1007/s10705-017-9893-3

77. Zinoviev, S. G., Semenov, S. O., & Pushkina, M. L. (2021). Optymizatsiia yakosti i rivnia proteinu v ratsionakh svyney dlia zmeshennia ekskretsii nitrohenu pry vyrobnytstvi svynyny [Optimization of protein quality and level in pigs' diets to reduce nitrogen expression in pork production]. *Svynarstvo* [Pig Breeding]. Poltava, 75–76, 112–125. doi: 10.37143/0371-4365-2021-75-76-11 [in Ukrainian].

78. Hansen, C. F., Sørensen, G., & Lyngbye, M. (2007). Reduced diet crude protein level, benzoic acid and inulin reduced ammonia, but failed to influence odour emission from finishing pigs. *Livestock Sci.*, 109(1–3), 228–231. doi: 10.1016/j.livsci.2007.01.133

79. Wang, Y., Zhou, J., Wang, G., Cai, Sh., Zeng, X., & Qiao, Sh. (2018). Advances in low-protein diets for swine. *J. of Animal Sci. and Biotechnology*, 9(1), 60. doi: 10.1186/s40104-018-0276-7

80. Mou, Q., Yang, H.-S., Yin, Y.-L., & Huang, P.-F. (2019). Amino Acids Influencing Intestinal Development and Health of the Piglets. *Animals*, 9(6), 302. doi: 10.3390/ani9060302
81. Han, I. K., Lee, J. H., Kim, J. H., Kim, Y. G., Kim, J. D., & Paik, I. K. (2000). Application of Phase Feeding in Swine Production. *J. of Applied Animal Research*, 17(1), 27–56. doi: 10.1080/09712119.2000.9706290
82. Wang, H., Long, W., Chadwick, D., Velthof, G. L., Oenema, O., Ma, W., & Zhang, F. (2020). Can dietary manipulations improve the productivity of pigs with lower environmental and economic cost? A global meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 289, 106748. doi: 10.1016/j.agee.2019.106748
83. Pomar, C., Pomar, J., Dubeau, F., Joannopoulos, E., & Dussault, J.-P. (2014). The impact of daily multiphase feeding on animal performance, body composition, nitrogen and phosphorus excretions, and feed costs in growing–finishing pigs. *Animal*, 8(5), 704–713. doi: 10.1017/s1751731114000408
84. Van den Broeke, A., Leen, F., Aluwij, M., Van Meensel, J. & Millet, S. (2017). Effect of slaughter weight and sex on carcass composition, N- and P-efficiency of pigs. In *Paper presented at the 68th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP)*, 28 August to 1 September 2017, Tallinn, Estonia. Retrieved from <https://pureportal.ilvo.be/nl/publications/effect-of-slaughter-weight-and-sex-on-carcass-composition-and-n-a>
85. Mansilla, W. D., Columbus, D. A., Htoo, J. K., & de Lange, C. F. (2015). Nitrogen Absorbed from the Large Intestine Increases Whole-Body Nitrogen Retention in Pigs Fed a Diet Deficient in Dispensable Amino Acid Nitrogen. *The J. of Nutrition*, 145(6), 1163–1169. doi: 10.3945/jn.115.212316
86. Zhang, Q., Hou, Y., Bazer, F.W., He, W., Posey, E.A., & Wu, G. (2021). Amino Acids in Swine Nutrition and Production. In: Wu, G. (eds) *Amino Acids in Nutrition and Health. Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol 1285. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-54462-1_6
87. Lenis, N. P., van Diepen, H. T., Bikker, P., Jongbloed, A. W., & van der Meulen, J. (1999). Effect of the ratio between essential and nonessential amino acids in the diet on utilization of nitrogen and amino acids by growing pigs. *J. of Animal Sci.*, 77(7), 1777–1787. doi: 10.2527/1999.7771777x
88. Schweer, W. (2018). "Amino acid requirements of health challenged pigs". (Graduate Theses and Dissertations). Retrieved from <https://lib.dr.iastate.edu/etd/16459> (date of access: 12.02.2023).
89. Mitchell, J. R., Becker, D. E., Harmon, B. G., Norton, H. W., & Jensen, A. H. (1968). Some Amino Acid Needs of the Young Pig Fed a Semisynthetic Diet. *J. of Animal Sci.*, 27(5), 1322–1326. doi: 10.2527/jas1968.2751322x.
90. Tybirk, P., Sloth, N. M., Kjeldsen, N., & Blaabjerg, K. (2021). Danish nutrient standards. 32nd ed. Seges danish pig research centre. Danish Agriculture & Food Council. Retrieved from https://pigresearchcentre.dk/-/media/PDF/English-site/Research_PDF/Nutrition-standards/Foder_Naeringsstoffer_Normer_for_naeringsstoffer2_uk.ashx (date of access: 23.01.2023).
91. Per Tybirk, Niels Morten Sloth, Niels Kjeldsen & Lisbeth Shooter. (2018) Danish nutrient standards. 28nd edition / Seges Danish Pig Research Centre. Danish Agriculture & Food Council. 14 p. Retrieved from

<https://docplayer.net/130899474-Danish-nutrient-standards.html> (date of access: 23.01.2023)

92. Schweer, W. P., Patience, J. F., Burrough, E. R., Kerr, B. J., & Gabler, N. K. (2018). Impact of PRRSV infection and dietary soybean meal on ileal amino acid digestibility and endogenous amino acid losses in growing pigs¹. *J. of Animal Sci.*, 96(5), 1846–1859. doi: 10.1093/jas/sky093

93. Nyachoti, C. M., Omogbenigun, F. O., Rademacher, M., & Blank, G. (2006). Performance responses and indicators of gastrointestinal health in early-weaned pigs fed low-protein amino acid-supplemented diets¹. *J. of Animal Sci.*, 84(1), 125–134. doi: 10.2527/2006.841125x

94. Zinoviev, S. G., & Bindiug, D. O. (2016). Fiziolohichna ta ekonomichna motyvatsiia vykorystannia bilkovykh kormiv pry vyroshchuvanni svynei [Physiological and economic motivation for the use of protein feed in raising pigs]. *Svynarstvo* [Pig Breeding]. Poltava, 68, 108–122 [in Ukrainian].

95. Zinoviev, S. G., Bindiug, D. O., & Maniunencko, S. A. (2017). Zasvoiennia pozhyvnykh rechovyn kormu za umov vykorystannia funktsional'noi kormovoi dobavky. [Assimilation of feed nutrients under the conditions of using a functional feed additive]. *Svynarstvo* [Pig Breeding]. Poltava, 69, 176–187 [in Ukrainian].

96. Torres-Pitarch, A., Manzanilla, E. G., Gardiner, G. E., O'Doherty, J. V., & Lawlor, P. G. (2018). Systematic review and meta-analysis of the effect of feed enzymes on growth and nutrient digestibility in grow-finisher pigs: effect of enzyme type and cereal source. *Animal Feed Science and Technology*. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.12.007

97. Zouaoui, M., Lıtourneau-Montminy, M. P., and Guay, F. (2018). Effect of phytase on amino acid digestibility in pig: A meta-analysis. *Animal Feed Sci. and Technology*, 238, 18–28. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.01.019

98. Jones, C. K., DeRouchev, J. M., Nelssen, J. L., Tokach, M. D., Dritz, S. S., & Goodband, R. D. (2010). Effects of fermented soybean meal and specialty animal protein sources on nursery pig performance^{1,2}. *J. of Animal Sci.*, 88(5), 1725–1732. doi: 10.2527/jas.2009-2110

99. Shelton, J. L., Hemann, M. D., Strode, R. M., Brashear, G. L., Ellis, M., McKeith, F. K., ... & Southern, L. L. (2001). Effect of different protein sources on growth and carcass traits in growing-finishing pigs. *J. of Animal Sci.*, 79(9), 2428–2435. doi: 10.2527/2001.7992428x

100. Ferguson, N., Gous, R., & Emmans, G. (1997). Predicting the effects of animal variation on growth and food intake in growing pigs using simulation modelling. *Animal Sci.*, 64(3), 513–522. doi: 10.1017/S1357729800016143

101. Pomar, C., Kyriazakis, I., Emmans, G. C., & Knap, P. W., (2003). Modeling stochasticity: Dealing with populations rather than individual pigs. *J. of Animal Sci.*, 81, 14, 2, E178–E186. doi: 10.2527/2003.8114_suppl_2E178x

102. Andretta, I., Pomar, C., Kipper, M., Hauschild, L., & Rivest, J. (2016). Feeding behavior of growing–finishing pigs reared under precision feeding strategies¹. *J. of Animal Sci.*, 94(7), 3042–3050. doi: 10.2527/jas.2016-0392

103. Remus, A., Hauschild, L., Corrent, E., Lıtourneau-Montminy, M.-P., & Pomar, C. (2019). Pigs receiving daily tailored diets using precision-feeding techniques have different threonine requirements than pigs fed in conventional phase-

feeding systems. *J. of Animal Sci. and Biotechnology*, 10(1), 16. doi: 10.1186/s40104-019-0328-7

104. Candido Pomar, Aline Remus (2019). Precision pig feeding: a breakthrough toward sustainability. *Animal Frontiers*, 9(2), 52–59. doi: 10.1093/af/vfz006

105. Hodgkinson, S. M., Stein, H. H., de Vries, S., Hendriks, W. H., & Moughan, P. J. (2020). Determination of True Ileal Amino Acid Digestibility in the Growing Pig for Calculation of Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS). *The J. of Nutrition*. doi: 10.1093/jn/nxaa210

106. Bai, Z. H., Ma, L., Qin, W., Chen, Q., Oenema, O., & Zhang, F. S. (2014). Changes in Pig Production in China and Their Effects on Nitrogen and Phosphorus Use and Losses. *Environmental Sci. & Technology*, 48(21), 12742–12749. doi: 10.1021/es502160v

107. Kerr, B. J., Weber, T. E., Miller, P. S., & Southern, L. L. (2010). Effect of phytase on apparent total tract digestibility of phosphorus in corn-soybean meal diets fed to finishing pigs1. *J. of Animal Sci.*, 88(1), 238–247. doi: 10.2527/jas.2009-2146

108. Liu, J. B., Yan, H. L., Cao, S. C., Liu, J., & Zhang, H. F. (2018). Effect of feed intake level on the determination of apparent and standardized total tract digestibility of phosphorus for growing pigs. *Animal Feed Sci. and Technology*. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.10.012

109. Schemmer, R., Spillner, C., & Sьdekum, K.-H. (2020). Phosphorus digestibility and metabolisable energy concentrations of contemporary wheat, barley, rye and triticale genotypes fed to growing pigs. *Archives of Animal Nutrition*, 74(6), 429–444. doi: 10.1080/1745039x.2020.1817695

110. Folomieiev, V. Z., Smyslov, S.Yu., & Beidyk, N. M. (2008) Tekhnoloho-ekonomichni problemy promyslovoho svynarstva [Technological and economic problems of industrial pig farming]. *Svynarstvo* [Pig Breeding]. Poltava, 56, 115–119 [in Ukrainian].

111. Külling, D., Menzi, H., Krüber, T., Neftel, A., Sutter, F., Lischer, P., & Kreuzer, M. (2001). Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from different types of dairy manure during storage as affected by dietary protein content. *The J. of Agricultural Sci.*, 137(2), 235–250. doi: 10.1017/S0021859601001186

112. Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Wang, Q., Wang, M., Chen, H., Ren, X., ...& Zhang, Z. (2017). Mitigation of Global Warming Potential for Cleaner Composting. *Energy, Environment, and Sustainability*, 271–305. doi: 10.1007/978-981-10-7434-9_16

113. Wang, X., Bai, Z., Yao, Y., Gao, B., Chadwick, D., Chen, Q., Hu, & Ch., Ma, L. (2018). Composting with negative pressure aeration for the mitigation of ammonia emissions and global warming potential. *J. of Cleaner Production*, 195, 448–457. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.146

114. Hargreaves, J., Adl, M., & Warman, P. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123(1–3), 1–14. doi: 10.1016/j.agee.2007.07.004

115. Tong, B., Wang, X., Wang, S., Ma, L., & Ma, W. (2019). Transformation of nitrogen and carbon during composting of manure litter with different methods. *Bioresource Technology*, 122046. doi: 10.1016/j.biortech.2019.122046

116. Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444–5453. doi: 10.1016/j.biortech.2008.11.027
117. Onwosi, C. O., Igbokwe, V. C., Odimba, J. N., Eke, I. E., Nwankwoala, M. O., Iroh, I. N., & Ezeogu, L. I. (2017). Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. *J. of Environmental Management*, 190, 140–157. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.12.051
118. Cao, Y., Wang, X., Liu, L., Velthof, G.L., Misselbrook, T., Bai, Z., & Ma, L. (2020). Acidification of manure reduces gaseous emissions and nutrient losses from subsequent composting process. *J. Environ Manage*, 15, 264,110454. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110454
119. Li, M.-X., He, X.-S., Tang, J., Li, X., Zhao, R., Tao, Y.-Q., & Qiu, Z.-P. (2020). Influence of moisture content on chicken manure stabilization during microbial agent-enhanced composting. *Chemosphere*, 128549. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128549
120. Walling, E., & Vaneeckhaute, C. (2020). Greenhouse gas emissions from inorganic and organic fertilizer production and use: A review of emission factors and their variability. *J. of Environmental Management*, 276, 111211. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111211
121. Lim, S. L., Lee, L. H., & Wu, T. Y. (2016). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *J. of Cleaner Production*, 111, 262–278. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.08.083
122. Zhang, Z., Liu, D., Qiao, Y., Li, S., Chen, Y., & Hu, C. (2021). Mitigation of carbon and nitrogen losses during pig manure composting: A meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 783, 147103. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147103
123. Bernal, M., Sommer, S. G., Chadwick, D., Chen, Q., Guoxue, L., & Michel, F. (2017). Current Approaches and Future Trends in Compost Quality Criteria for Agronomic, *Environmental, and Human Health Benefits*. 144, 143–233. doi: 10.1016/bs.agron.2017.03.002.
124. Cao, Y., Wang, X., Bai, Z., Chadwick, D., Misselbrook, T., Sommer, S., ... & Ma, L. (2019). Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions during solid waste composting with different additives: A meta-analysis. *J. of Cleaner Production*, 235, 626–635. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.288
125. Cao, Y., Wang, J., Huang, H., Sun, E., Butterly, C., Xu, Y., He, H., Zhang, J., & Chang, Z. (2019). Spectroscopic evidence for hyperthermophilic pretreatment intensifying humification during pig manure and rice straw composting. *Bioresour Technol*, 294, 122131. doi: 10.1016/j.biortech.2019.122131
126. Zhang, T., He, X., Deng, Y., Tsang, D. C. W., Yuan, H., Shen, J., & Zhang, S. (2020). Swine manure valorization for phosphorus and nitrogen recovery by catalytic–thermal hydrolysis and struvite crystallization. *Science of The Total Environment*, 774, 138999. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.1389
127. Dastpak, H., Pasalari, H., Jafari, A. J., Gholami, M., & Farzadkia, M. (2020). Improvement of Co-Composting by a combined pretreatment Ozonation / Ultrasonic process in stabilization of raw activated sludge. *Scientific Reports*, 10(1). doi: 10.1038/s41598-020-58054-y

**TECHNOLOGICAL MANAGEMENT OF THE REDUCTION OF
ECOLOGICALLY HARMFUL EMISSIONS OF ANIMAL HUSBANDRY
INTO THE ENVIRONMENT
(review)**

S. G. Zinoviev, M. L. Pushkina

*Institute of Pig Breeding and agroindustrial production NAAS
Shvedska Mohyla Str., 1, Poltava, Ukraine, 36013*

The purpose. To study the influence of various factors on the emissions of nitrogen and phosphorus compounds into the environment for the optimization of technological management and prospective planning of research in pig farming, as well as increasing the efficiency of the use of nutrients by pigs in their group housing. **Methods.** The material for the research was literature from the library of the Institute of Pig Breeding and AIP of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine and scientific works of scientists from Google Academy, Pub med, base-search.net, core.ac.uk, ouci.dntb.gov.ua. The following research methods were used in the research process: general scientific (typology, classification, analysis and synthesis, abstract-logical) and interdisciplinary (structural-system approach), historical (problematic-chronological, descriptive, source and historical analysis and synthesis), with their help systematized scientific data on the technological management of reducing ecologically harmful emissions of animal husbandry into the environment. **The results.** Management strategies used in science and practice to improve the efficiency of nitrogen and phosphorus use in pig production are discussed, namely: genetic selection, castration, slaughter weight, precision feeding, and manure management systems. Since the diet significantly affects the possible losses of nitrogen and phosphorus, it must be taken into account when evaluating management strategies. The amount of nitrogen released depends on the amount of absorbed nitrogen, the amount of absorbed nitrogen, the balance of amino acids in the diet and the animal's need for nitrogen and amino acids. For group-housed animals, polyphasic feeding systems should be used, as daily polyphasic feeding tailored to the individual animal's amino acid and other nutrient needs is likely to be most effective. Specific amino acid intake should be balanced using the ideal protein concept. With better knowledge of the needs of individual animals and the commercial availability of certain amino acids, the total level of crude protein in the diet can be reduced within certain limits. However, further research is needed on the minimum level of crude protein that provides maximum performance. The correct use of feed additives and enzyme preparations in rations contributes to the reduction of nitrogen and phosphorus emissions. By combining optimal feeding and management, nitrogen assimilation efficiencies approaching 60% can be achieved in the near future. Prospective manure collection and processing systems contribute to an even greater reduction of environmental emissions. **Conclusions.** The use of effective management systems and precise feeding in pig farming contributes to the increase of assimilation of nitrogen and phosphorus from feed, respectively, to the reduction of nitrogen and phosphorus emissions to the environment.

Key words: emissions, pigs, nitrogen, phosphorus, excretion, amino acids, genetic selection, castration, slaughter weight, animal age.

Отримано 14.05.2023. Отримано після доопрацювання 29.05.2023. Затверджено до видання 20.06.2023