

ДЖЕРЕЛА ПРОТЕЇНУ У ГОДІВЛІ СВИНЕЙ

Сичов Михайло Юрійович

доктор сільськогосподарських наук, професор
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-6319-9876
sychov@ukr.net

Ільчук Ігор Іванович

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0003-0961-6613
ilchukigor@nubip.edu.ua

Баланчук Іван Миколайович

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-7576-6508
balanchuk@nubip.edu.ua

Уманець Дмитро Петрович

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-1973-1132
umanetsdima@nubip.edu.ua

Голубєва Тетяна Анатоліївна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-2467-5972
holubieva@nubip.edu.ua

Пітера Владислав Олександрович

доктор філософії, асистент
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-3390-2516
pitera@nubip.edu.ua

Вознюк Роман Русланович

доктор філософії, асистент
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0003-4710-5371
roman_vz@ukr.net

Метою цього дослідження було визначення найбільш ефективних джерел протеїну для годівлі свиней, враховуючи поживну цінність, засвоюваність амінокислот, вміст антипоживних речовин, економічну доцільність і виробничі потреби. Це дослідження аналізує сучасні підходи до вибору та застосування рослинних і тваринних джерел білка у годівлі свиней. Особливу увагу приділено критеріям оцінки джерел протеїну, включаючи поживну цінність, доступність, екологічну стійкість, економічну доцільність і потенційні ризики використання антипоживних речовин.

Серед рослинних джерел найвищу цінність демонструє соевий шрот завдяки оптимальному амінокислотному профілю та високій засвоюваності, яка може досягати 90%. Однак важливим аспектом є його попередня обробка для зниження рівня інгібіторів трипсину. Інші рослинні компоненти, такі як ріпаковий і соняшниковий шроти, мають свої переваги, але їх використання обмежується високим вмістом клітковини і нижчим рівнем ключових амінокислот, таких як лізин. Бавовняний шрот характеризується токсичністю через наявність госсиполу, тоді як горох польовий пропонує низький вміст антипоживних речовин і значну енергетичну цінність.

У сфері тваринних джерел білка виділяються продукти крові, рибне та м'ясо-кісткове борошно. Продукти крові забезпечують високий вміст лізину і амінокислот, які легко засвоюються, але потребують ретельної

обробки для зниження ризиків забруднення. Рибне борошно містить омега-3 жирні кислоти, що сприятливо впливають на споживання корму, хоча його застосування ускладнене через високу вартість і мінливість якості. М'ясо-кісткове борошно надає необхідні мінерали, але характеризується нижчою засвоюваністю амінокислот через технологічні обмеження.

Загалом, ефективне управління раціонами вимагає комплексного підходу до використання джерел протеїну, враховуючи їх властивості, можливості обробки та специфіку годівлі свиней. Збалансоване поєднання рослинних і тваринних джерел протеїну дозволяє підвищити продуктивність, оптимізувати витрати та мінімізувати екологічний вплив виробництва.

Ключові слова: свині, свинарство, технологія, білок, амінокислоти, годівля.

DOI <https://doi.org/10.32782/bsnau.lvst.2024.4.6>

Вступ. У тваринництві джерела протеїну є одними з найдорожчих і обмежених кормових інгредієнтів у раціонах не тільки свиней, а і тварин в цілому (Parisi et al., 2020). Виробництво та постачання кормів є важливими кроками вирішення їх впливу на навколишнє середовище, з яким вони пов'язані, наприклад, зміна землекористування (Reckmann et al., 2016) зайняття землі (Hungkung et al., 2013), використання енергії та води (Nijdam et al., 2012).

До 2050 року населення світу досягне понад 9 мільярдів людей, і, отже, виробництво сільськогосподарської продукції потрібно буде збільшити на 50%, щоб задовольнити попит на продовольство (Alexandratos and Bruinma, 2012; Lombardi et al., 2019), тоді як очікується, що орна земля на людину зменшиться (Altmann et al., 2018). Одночасно підвищення рівня життя в країнах, що розвиваються, визначатиме зростання світового попиту на стійкий тваринний білок (wan Zanten et al., 2018; Swiatkiewicz et al., 2021).

Джерела високого вмісту протеїну можуть бути отримані зі звичайних кормів, включаючи зернові культури, продуктів переробки спиртової промисловості, бобові, субпродукти рибного та тваринного походження, насіння олійних культур (макуха з насіння ріпаку, сої та соняшника), побічні продукти біопалива та синтетичні амінокислоти (Parrini et al., 2023). Тим не менш, слід брати до уваги численні фактори що перешкоджають або обмежують використання рослинних білкових добавок, перш за все у молодих свиней (Taliencio and Kim, 2014). Можливими обмеженнями для використання рослинних білків є їх вторинні рослинні компоненти, деякі з яких мають антипоживні властивості. Однак ці речовини можна зменшити завдяки успішним інноваціям у технології кормів: ферментації та ферментативному обробленню, а також інтеграції екзогенних ферментів (Kim, 2010).

Різні склади раціону та джерела білка під час відгодівлі можуть впливати на продуктивність росту, а також на якість туші та м'яса. Метою цього огляду було вивчити останні дослідження джерел протеїну в годівлі та проаналізувати рівень їх введення в раціони свиней.

Матеріали і методи дослідження. За допомогою системного підходу, контент-аналізу, бібліосемантичного та наукометричного методів здійснено аналіз і узагальнення інформації з сучасних наукових джерел, статистичних даних Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО) та інших баз даних щодо застосування різних джерел протеїну в комбікормах для свиней.

Результати дослідження та їх обговорення.

Вибір джерел протеїну

Рішення про вибір джерела протеїну для раціону свиней повинно враховувати багато факторів, включаючи амінокислотний профіль і засвоюваність, енергетичний вміст, наявність антипоживних факторів, мінливість концентрації поживних речовин, здатність постійно отримувати високоякісну сировину, вартість і виробничі цілі. Крім того, вміст лізину та його засвоюваність часто визначають цінність джерела протеїну, оскільки ця амінокислота, є першою лімітуючою амінокислотою в більшості раціонів для свиней. У **таблиці 1** представлено орієнтовний вміст сирого протеїну в компонентах кормів у раціонах свиней з урахуванням деяких обмежувальних факторів.

Джерела рослинного протеїну

Джерела рослинного протеїну забезпечують більшу частину протеїну в раціоні свиней. Соевий шрот є провідним джерелом протеїну для свиней завдяки своїм високим поживним якостям та амінокислотному профілю. Основою, з якою порівнюють альтернативні джерела рослинного протеїну, є соєвий шрот.

Горох польовий

Польовий горох (*Pisum arvense* L.) переважно вирощується в регіонах помірного клімату. Польовий горох – це бобова культура, яка може фіксувати більшу частину власного азоту і не потребує значного використання азотних добрив для вирощування, що значно зменшує екологічні проблеми (White et al., 2015). Польовий горох містить низькі концентрації антипоживних факторів трипсину та інгібіторів хімотрипсину, які зазвичай інактивуються під час термічної обробки. Польовий горох містить близько 22% сирого протеїну і відносно високий вміст лізину, близько 1,5% (NRC, 2012). Порівняно з соєвим шротом польовий горох має значно менший вміст сирого протеїну, лізину, метіоніну, цистеїну та триптофану. Перетравність лізину та більшості амінокислот в клубовій кишці подібна до показників соєвого шроту, приблизно на 80% (Stein et al., 2016). Горох польовий має відносно високу енергетичну цінність порівняно з іншими олійними культурами, за рахунок відносно низького вмісту клітковини (13% НДК) і високого вмісту крохмалю (43%) у польовому горосі (NRC, 2012), який схожий на склад деяких зерен злаків.

Фаба (кінський біб)

Фаба (*Vicia faba* L.) відома як польова квасоля, або кінський біб, суха речовина якої багата на білок (28,2%), вуглеводи (від 45,7 до 70,1%) і мінерали (калій, фосфор,

Орієнтовний вміст сирого протеїну та лімітуючі фактори в протеїнових кормах, які можуть використовуватись в годівлі свиней

Компонент	Вміст сирого протеїну на суху речовину, %	Лімітуючий фактор	Джерело
Горх польовий	22	Антипоживні речовини (інгібітор трипсину)	NRC., 2012
Фаба (кінський біб)	28	Антипоживні фактори (інгібітори трепсину, інгібітори протеази)	Meng et al., 2021
Зерно люпину	32-52	Алкалоїди, некрохмальні полісахариди, олігосахариди	Parisi et al., 2020
Соеві боби (повножирнові)	35-40	Антипоживні речовини (інгібітор трипсину)	NRC., 2012
Соевий шрот	44-48	відсутні	NRC., 2012
Ферментований соевий шрот	50-55	відсутні	Carvantes-Pahm & Stein., 2010
Концентрат соєвого білка	> 65	Смакові якості	NRC., 2012
Ізолят соєвого білка	> 85	Висока вартість	NRC., 2012
Ріпаковий шрот сорту канола	35-40	Вміст антипоживних речовин (глюкозинатів)	NRC., 2012
Макуха соняшникова	≈ 30	Високий вміст клітковини	NRC., 2012
Бавовняний шрот	40	Антипоживні речовини (госсіпол), високий вміст клітковини	NRC., 2012
Дріжджовий екстракт	≈ 80	Наявність ліпополісахаридів	Sulabo et al., 2013
Спіруліна	43-63	Висока вартість, наявність	Altmann et al., 2019
М'ясо-кісткове борошно	50-55	Мінливість, високий вміст мінеральних речовин	NRC., 2012
М'ясо-кісткове борошно з птиці	60-65	Мінливість, високий вміст мінеральних речовин	NRC., 2012
Рибне борошно	60-65	Мінливість	NRC., 2012
Кров'яне борошно	75-90	Амінокислотний баланс	NRC., 2012
Борошно з комах (чорної солдатської мушки)	40-44	Наявність, висока вартість	Llames & Fontaine, 1994
Ячне борошно	50	Висока вартість	NRC., 2012
Сироватка суха	11-12	Високий вміст лактози	NRC., 2012
Концентрат сироваткового білка	75-80	Наявність, висока вартість	NRC., 2012

залізо та цинк) порівняно зі звичайними джерелами зерна (Meng et al., 2021). Фаба містить близько 1,7% жирів, які багаті основними ненасиченими жирними кислотами (тобто олеїною, пальмітолеїною та лінолевою кислотами), тоді як серед насичених жирних кислот пальмітинова та стеаринова кислоти становлять більшість (Angell et al., 2016; Tušnio et al., 2021). Що стосується доступності амінокислот, зерно фаби містить в основному аргінін і лейцин і високий рівень лізину, і, отже, їх можна змішувати зі злаками для досягнення збалансованого профілю амінокислот в клубовій кишці (Kumar et al., 2014; Skylas et al., 2019). Повідомлялося про низькі рівні триптофану та метіоніну (Smith et al., 2013) Використання фаби у годівлі свиней обмежене через наявність антихарчових факторів, таких як загальні фенольні сполуки, дубильні речовини, лектини, а також інгібітор протеази та інгібітор трипсину (Talierto & Kim, 2013). Очищення, пророщування, замочування та теплової обробки були застосовані до зерна фаби, щоб зменшити антихарчові фактори або покращити споживання та засвоюваність поживних речовин (Hejdysz et al., 2016; Avilés-Gaxiola et al., 2017). Крім того, в останні десятиліття на ринку

були представлені сорти фаби з низьким вмістом таніну (Miłczarek & Osek, 2016). Що стосується впливу на навколишнє середовище, фаба є універсальною бобовою культурою, що вирощується в різних кліматичних зонах і на різноманітних ґрунтах, з високою здатністю до фіксації азоту та відповідною зниженою потребою в азотних добривах (Multari et al., 2015).

Зерно люпину

Люпин (*Lupinus*) рідко використовується в раціонах свиней через його низьку смакову привабливість і наявність антипоживних факторів, таких як алкалоїди, некрохмальні полісахариди та олігосахариди, які впливають на харчові характеристики та засвоюваність, а також на фізіологічні механізми кишкового тракту (Degola, L., & Jonkus, D., 2018). Тим не менш, люпин має високий вміст білка, коливається від 32 до 52%, залежно від сорту (Parisi et al., 2020). Люпин характеризується сприятливим вмістом лізину та аргініну, але низьким вмістом метіоніну, триптофану та треоніну (Degola, L., & Jonkus, D., 2018). Лушпиння люпину становить приблизно 15–30% маси насіння. Містить целюлозу, що є обмеженням для моногастричних отже, лушення може покращити викори-

стання ядер, тоді як лушпиння може використовуватися в годівлі жуйних. Різні способи обробки, такі як пророщування, подрібнення, екструзія та термічна обробка для мікронізації, були застосовані до цілого насіння люпину для покращення харчової цінності (Pierer et al., 2016). Згідно літературних джерел, у годівлі свиней надають перевагу жовтому люпину (*Lupinus luteus*), над вузьколистим або білим люпином (Degola, L., & Jonkus, D., 2018; Parisi et al., 2020).

Соєві продукти

Соєві боби є найбільш широко використовуваним протеїном у світі та є основним джерелом протеїну в більшості раціонів для свиней. Соєві продукти, які використовуються в раціонах для свиней, включають соєвий шрот, повножирнові соєві боби, ферментований соєвий шрот, соєвий шрот, оброблений ензимами, концентрат соєвого білка та ізолят соєвого білка. Соєві боби містять антипоживні фактори, які зменшують використання поживних речовин, особливо інгібітори трипсину. Інгібітори трипсину повинні бути інактивовані нагріванням або підсмажуванням соєвих бобів перед використанням у раціонах для свиней. Сирі соєві боби не рекомендується використовувати для годівлі свиней. У свиней спостерігається транзиторна реакція гіперчутливості на соєвий шрот, викликана алергенними білками, а саме гліциніном і β -конгліциніном, а також неперетравними вуглеводами соєвих бобів. Після першого прийому раціону з великою кількістю соєвого шроту у свиней спостерігається період поганого засвоєння поживних речовин і низької продуктивності росту (Li et al., 1990). Ефекти тимчасові, і свині адаптуються уже через 7-10 днів (Engle, 1994). Щоб пом'якшити наслідки в цей період, свиней поступово привчають до раціонів із збільшенням кількості соєвого шроту після відлучення. Крім того, соєвий шрот може бути додатково оброблений для видалення алергенних сполук і покращення використання соєвих білків відлученими поросятами (Jones et al., 2010).

Соєвий шрот та макуха

Соєвий шрот є стандартним джерелом протеїну в раціонах для свиней і використовується як основне джерело протеїну в раціонах свиней. Соєвий шрот має найкращий амінокислотний профіль, збалансованість і засвоюваність серед усіх рослинних білкових джерел, які застосовуються в раціонах для свиней.

Соєвий шрот виготовляють із очищених або лушчених соєвих бобів. Очищений соєвий шрот, часто відомий як високобілковий, містить близько 48% сирого протеїну та приблизно 3% лізину. Натомість не лушений соєвий шрот має близько 44% сирого протеїну та 2,8% лізину (NRC, 2012). Згідно з дослідженнями, стандартизована засвоюваність лізину та більшості інших амінокислот у клубовій кишці становить понад 85-90% (Cervantes-Pahm and Stein, 2010).

Існує два методи отримання олії із соєвих бобів, які включають використання пресів та екстракцію розчинником. При механічному способі сировину з соєвих бобів піддають високому тиску, в результаті чого олія екстрагується, а сировина сильно нагрівається, що деактивує інгібітори трипсину. У методі екстракції розчинником

масло екстрагується за допомогою розчинника, а потім використовується процес підсмажування для деактивації інгібіторів трипсину. Соєва макуха містить вищий вміст олії, ніж екстрагований розчинником соєвий шрот, оскільки механічна екстракція є менш ефективною для знежирення соєвих бобів. Вміст олії в очищеному соєвому шроті, екстрагованому розчинником, становить приблизно 1,5% (NRC, 2012).

Екструдовані соєві боби

Екструдовані соєві боби виробляються в процесі підготовки зерна до згодовування за допомогою екструдера, без видалення олії з соєвих бобів. Екструдовані соєві боби є гарним джерелом білка та енергії. Критичним фактором під час екструзії є запобігання надмірній або недостатній обробці, оскільки це знизить харчову цінність екструдованої сої. Екструдовані соєві боби мають високий вміст олії, приблизно 15%, що дає змогу забезпечити потребу свиней в жирі. Однак екструдовані соєві боби містять менше сирого протеїну (35-40%) і лізину (2%), ніж соєвий шрот та макуха (NRC, 2012).

Ферментований або оброблений ферментами соєвий шрот

Подальша обробка соєвого шроту шляхом мікробної ферментації або ферментативної обробки здійснюється для зменшення вмісту алергенних білків і неперетравлених вуглеводів соєвих бобів (Stein et al., 2016). Мікробна ферментація зазвичай здійснюється шляхом включення мікробів до соєвого шроту, таких як *Aspergillus oryzae*, *Bifidobacterium lactis*, *Lactobacillus subtilis*, та інших. Ферментативна обробка зазвичай виконується шляхом включення власних ферментів і дріжджів до соєвого шроту (Stein et al., 2016). Ферментований або оброблений ферментами соєвий шрот містить більшу концентрацію сирого протеїну, ніж звичайний соєвий шрот, приблизно від 50 до 55% (Cervantes-Pahm and Stein, 2010; Jones et al., 2010). Однак засвоюваність більшості амінокислот і особливо лізину в клубовій кишці нижча у ферментованому або обробленому ферментами соєвому шроті порівняно зі звичайним соєвим шротом (Cervantes-Pahm and Stein, 2010). Зниження засвоюваності амінокислот відбувається через тепло під час процесу висушування ферментованого або обробленого ферментами соєвого шроту.

Концентрат та ізолят соєвого білка

Концентрат та ізолят соєвого білка є високобілковими продуктами, отриманими з соєвих бобів.

Соєвий протеїновий концентрат виробляється з очищених від лушпиння та знежирених соєвих бобів (або соєвих пластівців). Концентрація білка збільшується шляхом видалення більшості розчинних небілкових компонентів. Концентрат соєвого білка містить не менше 65% сирого протеїну (NRC, 2012).

Ізолят соєвого білка також виготовляється з очищених від лушпиння соєвих бобів (або соєвих пластівців). Процес починається з видалення більшості розчинних небілкових компонентів, а потім відбувається виділення білка шляхом осадження його в розчині. Ізолят соєвого білка є найбільш концентрованим джерелом соєвого протеїну і містить щонайменше 85% сирого протеїну (NRC, 2012).

Під час обробки концентрату та ізоляту соєвого білка переважно видаляються алергенні білки та неперетравлювані вуглеводи соєвих бобів (Stein et al., 2016). Однак інгібітор трипсину, що впливає на поживний фактор, може бути присутнім у більшій кількості порівняно з соєвим шротом, оскільки обробка не обов'язково передбачає термічну обробку (Cervantes-Pahm and Stein, 2010).

Ріпаковий шрот сорту канола

Шрот каноли є побічним продуктом екстракції олії з насіння каноли. Було виведено сорти зі зниженою концентрацією антипоживного фактора глюкозинолатів, які в Канаді та Сполучених Штатах називають ріпаком, а в Європі - ріпаком із подвійним низьким вмістом або 00-ріпаком. Глюкозинолати - це гоїтрогенні сполуки, які впливають на функцію щитовидної залози та метаболізм йоду, погіршуючи споживання корму та продуктивність росту свиней, яких годували раціонами з високими концентраціями (Parr et al., 2015). Концентрація глюкозинолатів у сучасних сортах, як правило, становить менше 30 мкмоль/г, і вона змінюється в ріпаковому шроті залежно від ступеня деградації під час підсмажування (Mejicanos et al., 2016). Ріпаковий шрот містить 35 - 40% сирого протеїну та 2% вмісту лізину (NRC, 2012). Порівняно з соєвим шротом ріпаковий шрот містить менший вміст сирого протеїну та лізину, але більшу концентрацію метіоніну та цистеїну. В середньому перетравність лізину та більшості амінокислот в клубовій кишці нижча, ніж у соєвому шроті, приблизно на 70 - 75% (Cervantes-Pahm and Stein, 2010). Нещодавно були створені нові сорти ріпаку в шроті з яких вміст протеїну становить приблизно 45% (Liu et al., 2014). Хоча значення сирого протеїну ближче до вмісту соєвого шроту, засвоєність амінокислот у ріпаковому шроті з високим вмістом протеїну подібна до звичайного ріпакового шроту і, отже, менша, ніж у соєвого шроту. Вміст клітковини в шроті каноли становить від 20 до 25% НДК що в 3 рази більше, ніж в соєвому шроті, завдяки використанню лущеного насіння каноли (NRC, 2012). Високий вміст клітковини знижує енергетичну цінність ріпакового шроту.

Макуха соняшникова

Макуха соняшникова є побічним продуктом віджиму олії з насіння соняшнику. Соняшникова макуха не містить більшості антипоживних факторів, проте містить приблизно 30% сирого протеїну та 1% лізину (NRC, 2012).

Подібно до ріпакового шроту з каноли, соняшникова макуха містить менший вміст сирого протеїну та лізину, але більшу концентрацію метіоніну та цистеїну, ніж соєвий шрот. Перетравність лізину та більшості амінокислот в клубовій кишці нижча, ніж у соєвого шроту, приблизно на 75 - 80% (Cervantes-Pahm and Stein, 2010). Вміст клітковини в соняшниковій макусі дуже високий, приблизно 30% НДК у очищеній соняшниковій макусі, що приблизно в 4 рази більше, ніж в соєвому шроті (NRC, 2012). Включення соняшникової макухи в раціон свиней здебільшого обмежується високим вмістом клітковини (González-Vega and Stein, 2012).

Бавовняний шрот

Бавовняний шрот є побічним продуктом екстракції олії з насіння бавовнику. Обмеженням використання

бавовняного шроту в раціонах для свиней є антипоживний фактор госсипол, який міститься в пігментних залозах насіння бавовнику. Вільна форма госсиполу є токсичною і не має перевищувати 100 ppm у повноцінних раціонах для свиней (Gadelha et al., 2014). Для інактивації госсиполу використовується теплова обробка насіння бавовни, але нагрівання дозволяє вільному госсиполу зв'язуватися з лізином тим самим знижувати його засвоєність (González Vega and Stein, 2012). Нові сорти насіння бавовнику, які зазвичай називають беззалозистим насінням бавовнику, не містять госсиполу, але, на жаль, не є поширеними (Stein et al., 2016). Бавовняний шрот містить близько 40% сирого протеїну та 1,5% лізину (NRC, 2012). Порівняно з соєвим шротом, бавовняний шрот містить менше сирого протеїну, меншу концентрацію лізину та більшості незамінних амінокислот. Засвоєність клубовою кишкою лізину та більшості амінокислот є нижчою в шроті з насіння бавовни, ніж у будь-якому іншому шроті з олійних культур, приблизно на 60% (Cervantes-Pahm and Stein, 2010). Вміст клітковини в шроті з насіння бавовни суттєво вищий від 20 до 25% НДК, тобто у 3 рази більше, ніж у соєвому шроті (NRC, 2012).

Джерело жріжджового білка

Висушена ферментаційна біомаса складається із залишкового матеріалу від виробництва синтетичних амінокислот. Синтетичні амінокислоти отримують з бактерій, що виробляє амінокислоти з вуглеводів (цукри, як правило, з кукурудзи) та джерела азоту (дріжджовий екстракт) для бактеріальної ферментації. Біомаса, що залишилася після екстракції синтетичних амінокислот, використовується для виробництва висушеної ферментованої біомаси. Висушений продукт містить високу концентрацію сирого протеїну (близько 80%), лізину та незамінних амінокислот (Sulabo et al., 2013; Almeida et al., 2014).

Перетравність лізину та більшості амінокислот є високою, вище 90% (Sulabo та ін., 2013; Almeida та ін., 2014). Бактерії, що продукують амінокислоти у висушеній біомасі ферментації, не шкідливі для свиней, але структурний компонент грамнегативних бактерій (ліпополісахарид) може мати ендотоксину активність (Wallace et al., 2016), що впливає на споживання корму.

Водорості

Водорості – це гетерогенні організми, які живуть у водному середовищі існування та мають різні розміри, включаючи еукаріотичні водорості та прокаріотичні ціанобактерії (блакитні водорості). Залежно від розміру та будови тіла водорості поділяються на мікроводорості (спостерігаються під мікроскопом) і макроводорості (видимі неозброєним оком). Компоненти водоростей можна використовувати як натуральні добавки в харчові продукти людини та корми для тварин з метою заміни синтетичних компонентів (Yaakob et al., 2014). У нещодавньому огляді повідомляється, що морські водорості можуть бути джерелом активних речовин для свиней, таких як полісахариди, білки та амінокислоти, а також ліпіди, включаючи жирні кислоти омега-3 і -6, вітаміни, мінерали та фенольні сполуки (Angell et al., 2016; Makkar et al., 2016; Corino et al., 2019; Øverland et al., 2018.).

Мікрододорості є джерелом білка та клітковини для харчування людини та худоби завдяки високій поживній цінності, вмісту незамінних амінокислот, засвоюваного протеїну, вітамінів, мінералів, каротиноїдів та жирних кислот, особливо довголанцюгових омега-3 жирних кислот (Kibria & Kim, 2019). Мікрододорості наділені оздоровчими ефектами, такими як антиоксидантна активність, імуностимулюючі властивості та користь для кишкових мікроорганізмів (Kibria & Kim, 2019). Крім того, мікрододорості мають швидкий темп росту, і вони можуть зіграти роль у зменшенні проблеми доступності ґрунту, оскільки вони можуть походити від безземельного вирощування. Крім того, вони є фотосинтезуючими організмами, які можуть перетворювати вуглекислий газ у вуглеводи, ліпіди, білки та пігменти (Corino et al., 2019b). Останнім часом мікрододорості використовувалися як кормові добавки або добавки в секторі свинарства (García-Vaqueiro et al., 2021; Yan et al., 2012)

Серед мікрододоростей особливу увагу слід звернути на спіруліну (*Arthrospira platensis*), яку можна використовувати як кормову добавку відразу після висушування. Спіруліна характеризується високим вмістом сирого білка на суху речовину (43-63%), невеликою кількістю вуглеводів (8-14%) і ліпідів (4-9%) (Altmann et al., 2019; Sanjayan et al., 2014). Спіруліна складається з унікальної суміші поживних речовин, що містять антиоксиданти, такі як β -каротин, вітамін Е та гамма-ліноленова кислота. Крім того, спіруліну можна вирощувати в умовах високої солоності та лужних умовах, що робить її цікавою та перспективною сировиною для годівлі тварин (Altmann et al., 2019).

Джерела протеїну тваринного походження

Джерела протеїну тваринного походження зазвичай використовуються для мінімізації включення соєвого шроту в початкові раціони молоді та стимулювання споживання корму у відлучених поросят. Джерела протеїну тваринного походження, як правило, приємні на смак і містять амінокислоти, які легко засвоюються. Проте джерела протеїну тваринного походження є дорогими, а коливання хімічного складу зазвичай більші, порівняно з джерелами протеїну рослинного походження. Занепокоєння щодо біозахисту виникає через потенційну передачу хвороби через інгредієнти тваринного походження, зокрема свинини. Джерела тваринного білка зазвичай піддаються термічній обробці, яка знищує більшість патогенів, але продукція може бути забрудненою повторно після обробки, що викликає занепокоєння. Крім того, деякі маркетингові програми свинини можуть обмежувати використання тваринних компонентів в раціонах свиней.

Продукт крові, висушені

Висушені продукти крові, є побічними продуктами, отриманими з заводів по вирощуванню свиней і великої рогатої худоби. Цільну кров збирають у охолоджувальній ємності та за для запобігання згортанню додають антикоагулянт. Висушені шляхом розпилення клітини крові та висушена плазма утворюються шляхом розділення фракцій крові, тоді як висушена звичайна кров містить клітини крові та плазму (Almeida et al., 2013).

Кров'яне борошно містять високу концентрацію сирого протеїну (75-90%) і лізину (7-8%) (NRC, 2012). Засвоюваність лізину та більшості амінокислот свинями висока, вище 95% (Almeida et al., 2013). Однак доступність лізину знижується у разі надмірного нагрівання крові, під час висушування. Використання кров'яного борошна, вимагає уваги до сприятливого балансу амінокислот з розгалуженим ланцюгом через високу концентрацію лейцину, але низьку концентрацію ізолейцину та валіну, особливо у висушених клітинах крові або кров'яному борошні (Kerr et al., 2004; Goodband et al., 2014). Крім того, концентрація метіоніну низька у всіх продуктах крові. Включення інших джерел протеїну або доповнення раціону амінокислотами кормового класу є важливим для коригування амінокислотного профілю в раціонах із висушеними продуктами крові (Remus et al., 2013). Продукти крові, можуть суттєво відрізнятися за складом і якістю залежно від джерела та методів обробки. Теплова обробка має вирішальне значення для знищення патогенів (Narayanappa et al., 2015), але повторне забруднення після обробки може викликати занепокоєння. Щоб мінімізувати ризик передачі захворювання через компоненти корму, бажано використовувати лише продукти крові не свинячого походження.

М'ясо-кісткове борошно

М'ясо-кісткове борошно є побічним продуктом з забою різних тварин. М'ясо-кісткове борошно містить високу концентрацію сирого протеїну (50 - 55%), лізину (2,5%) і більшість амінокислот, за винятком триптофану (NRC, 2012). Засвоюваність лізину та більшості амінокислот свинями низька, приблизно 65 - 80% (Kong et al., 2014). Крім того, доступність лізину ще більше знижується при надмірному нагріванні сировини під час приготування м'ясо-кісткового борошна. М'ясо-кісткове борошно є чудовим джерелом кальцію та фосфору, забезпечує мінерали у високій концентрації та з високою біодоступністю фосфору (Traylor et al., 2005). Якість і склад м'ясо-кісткового борошна можуть істотно відрізнятися в залежності від характеристик сировини.

Борошно з птиці

М'ясо-кісткове борошно з птиці - це побічний продукт з нутроців і різних тканин, отриманих при забої птиці. М'ясо-кісткове борошно з птиці містить високу концентрацію сирого протеїну (60-65%), лізину (4%) і більшість амінокислот, за винятком триптофану (NRC, 2012). На засвоюваність амінокислот може впливати вміст золи в м'ясо-кістковому борошні з птиці. Вміст золи безпосередньо пов'язаний із вмістом кісток у сировині та є показником, пов'язаним із низькою засвоюваністю та нижчою якістю продукту (Keegan et al., 2004).

Рибне борошно

Рибне борошно - це продукт, отриманий шляхом переробки цілої риби або рибних відходів. Рибне борошно зазвичай містить високу концентрацію сирого протеїну (60-65%) і лізину (4,5%), сприятливий амінокислотний профіль і омега-3 жирні кислоти (NRC, 2012). Засвоюваність лізину та більшості амінокислот у клубовій кишці свині висока, приблизно 85% (Servantes-Pahm and Stein, 2010). Включення рибного борошна

в раціон свиней покращує смакові якості і зазвичай збільшує споживання корму. Однак якість рибного борошна може значно відрізнятись залежно від виду риби, свіжості сирової риби та методу обробки (Kim and E aster, 2001; Jones et al., 2018). В даний час не існує єдиного лабораторного тесту, який дає загальну оцінку якості рибного борошна. Аналіз вмісту мінеральних речовин і жиру може бути використаний як показник кормової цінності рибного борошна. Рибне борошно з високим вмістом мінеральних речовин (> 20%) і низьким рівнем жиру (< 7,5%), як правило, складається з рибних субпродуктів і має нижчу кормову цінність порівняно з рибним борошном із цільної риби. Свіжість сирової риби можна оцінити за допомогою аналізу загального леткого азоту. Значення, нижчі за 0,15% загального леткого азоту, зазвичай вказують на хорошу свіжість рибного борошна. Бактеріальний аналіз важливий для оцінки якості рибного борошна, оскільки сальмонела може передаватися через рибне борошно (Morris et al., 1970).

Продукти зі слизової оболонки кишечника свиней

Продукти зі слизової оболонки кишківника свиней є побічними продуктами фармацевтичної промисловості, отриманими в результаті переробки слизової оболонки кишківника свиней для вилучення антикоагулянту гепарину. Слизова оболонка піддається ферментативному гідролізу після екстракції гепарину та спільного сушіння з рослинними протеїновими компонентами для отримання продуктів зі слизової оболонки кишківника свиней. Комерційно доступні продукти зазвичай називають ферментативно гідролізованою кишковою слизовою оболонкою, висушеними свинячими розчинами або пептонами. Продукти зі слизової оболонки свинячого кишечника забезпечують невеликі пептиди, які легко засвоюються свинями. Концентрація сирого протеїну висока (50-60%), та сприятливий амінокислотний профіль (Myers et al., 2014). Перетравність лізину є високою, вище 80-85% (Sulabo et al., 2013). Варіації у складі продуктів слизової оболонки кишечника свиней пов'язані з різними рослинними білками, які використовуються як носії під час висушування та обробки слизової оболонки кишечника (Jones et al., 2010; Myers et al., 2014).

Яєчне борошно

Яєчне борошно, є побічним продуктом яєчної промисловості, виробленим лише з яєць без шкаралупи, які не відповідають стандартам якості для споживання людиною. Яєчне борошно містить високу концентрацію сирого протеїну (50%) та лізину - 3,5% (NRC, 2012). Яєчне борошно, також є хорошим джерелом енергії. Яєчне борошно забезпечує біоактивні сполуки, такі як антимікробні білки (лізоцим) та імуноглобуліни (IgY). Вважається, що склад яєчного борошна приносить користь для покращення здоров'я (Song et al., 2012). Крім того, курей можна імунізувати проти патогенів, таких як ентеротоксигенна *Escherichia coli*, а гіперімунізовані яйця служать джерелом специфічних антитіл до патогенів (Da Rosa et al., 2014).

Сироваткові продукти

Сироватка одержується в результаті згортання молока під час виробництва молочних продуктів, таких

як сир і йогурт (Grinstead et al., 2000). Сироватку відокремлюють від сирної маси та переробляють у сироваткові продукти, включаючи суху сироватку та концентрат сироваткового білка. Сироваткові продукти є джерелом як білка, так і лактози.

Суху сироватку отримують шляхом видалення більшої частини води з рідкої сироватки. Процес сушіння можна здійснити шляхом сушіння, розпиленням або роликового сушіння. Розпилювальне сушіння є кращим методом для запобігання перегріву сироватки через швидке випаровування при нижчих температурах порівняно з методом роликового сушіння (Grinstead et al., 2000). Висушена сироватка містить від 11 до 12% сирого протеїну та високу концентрацію лактози, приблизно 72% (NRC, 2012). Концентрат сироваткового білка виробляється за допомогою додаткового процесу ультрафільтрації рідкої сироватки перед процесом сушіння (Grinstead et al., 2000). Процес ультрафільтрації концентрує сироватковий білок і видаляє більшу частину лактози. Концентрат сироваткового протеїну містить від 75 до 80% сирого протеїну та низьку концентрацію лактози, як правило, близько 5% (NRC, 2012). Концентрат сироваткового протеїну є їстівним продуктом, який користується великим попитом у харчовій промисловості, що обмежує його доступність для використання в раціонах для свиней.

Комахи

Комахи останнім часом вважаються стійким і перспективним високоякісним джерелом протеїну для раціонів завдяки високому вмісту протеїну та жиру (Veldkamp & Vernooij, 2021; Chia et al., 2019). Повідомлялося про наявність речовин, які сприятливо впливають на здоров'я свиней, таких як хітин, лауринова кислота та антимікробні пептиди (Gasco et al., 2018). Однак вартість виробництва комах все ще вважається занадто високою, щоб бути конкурентоспроможною з традиційними джерелами білка (Veldkamp & Vernooij, 2021).

Личинки чорної солдатської мухи, (*Hermetia illucens* L.), перетворюють органічні відходи (фруктові залишки, тваринний гній, овочі та злаки, які використовуються пивоварами) у високоякісні білки (Chia et al., 2019), що містять приблизно 40–44% сирого білка з аміногрупою. кислотний профіль, порівняний з соєвого шроту (Llames & Fontaine, 1994; Barragan-Fonseca et al., 2017; Veldkamp, T., & Bosch, G., 2015). Крім того, ці личинки містять різний відсоток жиру від 7% до 39% (Chia et al., 2019), а також кальцій, фосфор, натрій і магній (Barragan-Fonseca et al., 2017). Дослідження щодо їх включення в корм для свиней було зосереджено на поросятах, яким замінювали або рибне борошно, або соєвий шрот (Chia et al., 2019; Spranghers et al., 2018; Biasato et al., 2019), а також на свинях, завершальної стадії вирощування (Yu et al., 2019).

Висновки. Соевий шрот залишається основним джерелом рослинного протеїну для годівлі свиней завдяки високій засвоюваності та оптимальному амінокислотному профілю. Однак його ефективність значною мірою залежить від попередньої обробки, яка знижує рівень антипоживних факторів. Альтернативні рослинні

джерела, такі як ріпаковий та соняшниковий шроти, а також горох польовий, характеризуються низкою переваг, зокрема екологічною стійкістю. Водночас їх застосування обмежене високим вмістом клітковини та менш збалансованим амінокислотним складом. Тваринні джерела протеїну, включаючи рибне борошно, продукти крові та м'ясо-кісткове борошно, демонструють високу поживну цінність і сприяють підвищенню продуктивності свиней. Проте їх використання ускладнюється мінливістю складу, високою вартістю та потенційними ризиками забруднення.

Збалансоване поєднання рослинних і тваринних джерел протеїну у раціонах дозволяє оптимізувати виробничі процеси, забезпечити економічну ефективність та екологічну стійкість. Важливим напрямом є впровадження сучасних технологій обробки, таких як ферментація, теплове та ферментативне оброблення, що покращують доступність поживних речовин і знижують вплив антипоживних факторів. Таким чином, стратегічний підхід до вибору джерел протеїну сприятиме підвищенню ефективності тваринництва та зменшенню екологічного впливу на навколишнє середовище.

Бібліографічні посилання:

1. Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision.
2. Almeida, F. N., Htoo, J. K., Thomson, J., & Stein, H. H. (2013). Comparative amino acid digestibility in US blood products fed to weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 181(1-4), 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.03.002>
3. Almeida, F. N., Sulabo, R. C., & Stein, H. H. (2014). Amino acid digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in a threonine biomass product fed to weanling pigs. *Journal of Animal Science*, 92(10), 4540–4546. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6635>
4. Altmann, B. A., Neumann, C., Rothstein, S., Liebert, F., & Mörlein, D. (2019). Do dietary soy alternatives lead to pork quality improvements or drawbacks? A look into micro-alga and insect protein in swine diets. *Meat Science*, 153, 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.001>
5. Angell, A. R., Angell, S. F., de Nys, R., & Paul, N. A. (2016). Seaweed as a protein source for mono-gastric livestock. *Trends in Food Science & Technology*, 54, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.05.014>
6. Avilés-Gaxiola, S., Chuck-Hernández, C., & Serna Saldívar, S. O. (2017). Inactivation methods of trypsin inhibitor in legumes: A review. *Journal of Food Science*, 83(1), 17–29. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13985>
7. Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. A. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–120. <https://doi.org/10.3920/jiff2016.0055>
8. Biasato, I., Renna, M., Gai, F., Dabbou, S., Meneguz, M., Perona, G., Martinez, S., Lajusticia, A. C. B., Bergagna, S., Sardi, L., Capucchio, M. T., Bressan, E., Dama, A., Schiavone, A., & Gasco, L. (2019). Partially defatted black soldier fly larva meal inclusion in piglet diets: Effects on the growth performance, nutrient digestibility, blood profile, gut morphology and histological features. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0325-x>
9. Cervantes-Pahm, S. K., & Stein, H. H. (2010). Ileal digestibility of amino acids in conventional, fermented, and enzyme-treated soybean meal and in soy protein isolate, fish meal, and casein fed to weanling pigs1. *Journal of Animal Science*, 88(8), 2674–2683. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2677>
10. Chia, Tanga, Osuga, Alaru, Mwangi, Githinji, Subramanian, Fiaboe, Ekesi, van Loon & Dicke. (2019). Effect of dietary replacement of fishmeal by insect meal on growth performance, blood profiles and economics of growing pigs in kenya. *Animals*, 9(10), 705. <https://doi.org/10.3390/ani9100705>
11. Corino, C., Modina, S. C., Di Giancamillo, A., Chiapparini, S., & Rossi, R. (2019a). Seaweeds in pig nutrition. *Animals*, 9(12), 1126. <https://doi.org/10.3390/ani9121126>
12. da Rosa, D. P., Vieira, M. d. M., Kessler, A. M., de Moura, T. M., Frazzon, A. P. G., McManus, C. M., Marx, F. R., Melchior, R., & Ribeiro, A. M. L. (2015). Efficacy of hyperimmunized hen egg yolks in the control of diarrhea in newly weaned piglets. *Food and Agricultural Immunology*, 26(5), 622–634. <https://doi.org/10.1080/09540105.2014.998639>
13. Degola, L., & Jonkus, D. (2018). The influence of dietary inclusion of peas, faba bean and lupin as a replacement for soybean meal on pig performance and carcass traits.
14. Engle, M. J. (1994). The role of soybean meal hypersensitivity in postweaning lag and diarrhea in piglets. *Journal of Swine Health and Production*. 2:7-10.
15. Gadelha, I. C. N., Fonseca, N. B. S., Oloris, S. C. S., Melo, M. M., & Soto-Blanco, B. (2014). Gossypol toxicity from cottonseed products. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2014/231635>
16. García-Vaquero, M., Brunton, N., & Lafarga, T. (2021). Microalgae as a source of pigments for food applications. *Y Cultured microalgae for the food industry* (c. 177–198). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821080-2.00014-9>
17. Gasco, L., Finke, M., & van Huis, A. (2018). Can diets containing insects promote animal health? *Journal of Insects as Food and Feed*, 4(1), 1–4. <https://doi.org/10.3920/jiff2018.x001>
18. Gonzalez-Vega, J. C., & Stein, H. H. (2012). Amino acid digestibility in canola, cottonseed, and sunflower products fed to finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 90(12), 4391–4400. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4631>
19. Goodband, B., Tokach, M., Dritz, S., DeRouche, J., & Woodworth, J. (2014). Practical starter pig amino acid requirements in relation to immunity, gut health and growth performance. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/2049-1891-5-12>
20. Grinstead, G. S., Goodband, R. D., Nelssen, J. L., Tokach, M. D., & Dritz, S. S. (2000). A review of whey processing, products and components: Effects on weanling pig performance. *Journal of Applied Animal Research*, 17(1), 133–150. <https://doi.org/10.1080/09712119.2000.9706296>

21. Hejdysz, M., Kaczmarek, S. A., & Rutkowski, A. (2016). Extrusion cooking improves the metabolisable energy of faba beans and the amino acid digestibility in broilers. *Animal Feed Science and Technology*, 212, 100–111. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.12.008>
22. Jones, A. M., Wu, F., Woodworth, J. C., Tokach, M. D., Goodband, R. D., DeRouchey, J. M., & Dritz, S. S. (2018). Evaluating the effects of fish meal source and level on growth performance of nursery pigs^{1,2}. *Translational Animal Science*, 2(2), 144–155. <https://doi.org/10.1093/tas/txy010>
23. Jones, C. K., DeRouchey, 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}. *Journal of Animal Science*, 88(5), 1725–1732. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2110>
24. Keegan, T. P., DeRouchey, J. M., Nelssen, J. L., Tokach, M. D., Goodband, R. D., & Dritz, S. S. (2004). The effects of poultry meal source and ash level on nursery pig performance¹. *Journal of Animal Science*, 82(9), 2750–2756. <https://doi.org/10.2527/2004.8292750x>
25. Kerr, B. J., Kidd, M. T., Cuaron, J. A., Bryant, K. L., Parr, T. M., Maxwell, C. V., & Weaver, E. (2004). Utilization of spray-dried blood cells and crystalline isoleucine in nursery pig diets¹. *Journal of Animal Science*, 82(8), 2397–2404. <https://doi.org/10.2527/2004.8282397x>
26. Kibria, S., & Kim, I. H. (2019). Impacts of dietary microalgae (Schizochytrium JB5) on growth performance, blood profiles, apparent total tract digestibility, and ileal nutrient digestibility in weaning pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(13), 6084–6088. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9886>
27. Kim, S. W. (2010). Bio-fermentation technology to improve efficiency of swine nutrition. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 23(6), 825–832.
28. Kim, S. W., & Easter, R. A. (2001). Nutritional value of fish meals in the diet for young pigs. *Journal of Animal Science*, 79(7), 1829. <https://doi.org/10.2527/2001.7971829x>
29. Kong, C., Kang, H. G., Kim, B. G., & Kim, K. H. (2014). Ileal digestibility of amino acids in meat meal and soybean meal fed to growing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27(7), 990–995. <https://doi.org/10.5713/ajas.2014.14217>
30. Kumar, N., Bansal, A., Sarma, G. S., & Rawal, R. K. (2014). Chemometrics tools used in analytical chemistry: An overview. *Talanta*, 123, 186–199. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.02.003>
31. Li, D. F., Nelssen, J. L., Reddy, P. G., Blecha, F., Hancock, J. D., Allee, G. L., Goodband, R. D., & Klemm, R. D. (1990). Transient hypersensitivity to soybean meal in the early-weaned pig. *Journal of Animal Science*, 68(6), 1790. <https://doi.org/10.2527/1990.6861790x>
32. Liu, Y., Song, M., Maison, T., & Stein, H. H. (2014). Effects of protein concentration and heat treatment on concentration of digestible and metabolizable energy and on amino acid digestibility in four sources of canola meal fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*, 92(10), 4466–4477. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7433>
33. Llames, C. R., & Fontaine, J. (1994). Determination of amino acids in feeds: Collaborative study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 77(6), 1362–1402. <https://doi.org/10.1093/jaoac/77.6.1362>
34. Lombardi, G. V., Parrini, S., Atzori, R., Stefani, G., Romano, D., Gastaldi, M., & Liu, G. (2021). Sustainable agriculture, food security and diet diversity. The case study of Tuscany, Italy. *Ecological Modelling*, 458, 109702.
35. Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., Giger-Reverdin, S., Lessire, M., Lebas, F., & Ankers, P. (2016). Seaweeds for livestock diets: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 212, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.09.018>
36. Mejicanos, G., Sanjayan, N., Kim, I. H., & Nyachoti, C. M. (2016). Recent advances in canola meal utilization in swine nutrition. *Journal of Animal Science and Technology*, 58(1). <https://doi.org/10.1186/s40781-016-0085-5>
37. Meng, Z., Liu, Q., Zhang, Y., Chen, J., Sun, Z., Ren, C., Zhang, Z., Cheng, X., & Huang, Y. (2021). Nutritive value of faba bean (*Vicia faba* L.) as a feedstuff resource in livestock nutrition: A review. *Food Science & Nutrition*, 9(9), 5244–5262. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2342>
38. Milczarek, A., & Osek, M. (2016). 13. partial replacement of soybean with low-tannin faba bean varieties (albus or amulet): Effects on growth traits, slaughtering parameters and meat quality of puławska pigs. *Annals of Animal Science*, 16(2), 477–487. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0076>
39. Morris, G. K., W. T. Martin, W. H. Shelton, J. G. Wells, and P. S. Brachman. (1970). Salmonellae in fish meal plants: Relative amounts of contamination at various stages of processing and a method of control. *Applied Microbiology*. 19:401-408
40. Multari, S., Stewart, D., & Russell, W. R. (2015). Potential of faba bean as future protein supply to partially replace meat intake in the human diet. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 511–522. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12146>
41. Mungkung, R., Aubin, J., Prihadi, T. H., Slembrouck, J., van der Werf, H. M. G., & Legendre, M. (2013). Life Cycle Assessment for environmentally sustainable aquaculture management: A case study of combined aquaculture systems for carp and tilapia. *Journal of Cleaner Production*, 57, 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.029>
42. Myers, A. J., Goodband, R. D., Tokach, M. D., Dritz, S. S., DeRouchey, J. M., & Nelssen, J. L. (2014). The effects of porcine intestinal mucosa protein sources on nursery pig growth performance¹. *Journal of Animal Science*, 92(2), 783–792. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6551>
43. Nijdam, D., Rood, T., & Westhoek, H. (2012). The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. *Food Policy*, 37(6), 760–770. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.08.002>
44. *Nutrient requirements of swine*. (2012). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13298>

45. Øverland, M., Mydland, L. T., & Skrede, A. (2018). Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(1), 13–24. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9143>
46. Parisi, G., Tulli, F., Fortina, R., Marino, R., Bani, P., Dalle Zotte, A., De Angelis, A., Piccolo, G., Pinotti, L., Schiavone, A., Terova, G., Prandini, A., Gasco, L., Roncarati, A., & Danieli, P. P. (2020). Protein hunger of the feed sector: The alternatives offered by the plant world. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 1204–1225. <https://doi.org/10.1080/1828051x.2020.1827993>
47. Parr, C. K., Liu, Y., Parsons, C. M., & Stein, H. H. (2015). Effects of high-protein or conventional canola meal on growth performance, organ weights, bone ash, and blood characteristics of weanling pigs. *Journal of Animal Science*, 93(5), 2165–2173. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8439>
48. Parrini, S., Aquilani, C., Pugliese, C., Bozzi, R., & Sirtori, F. (2023). Soybean replacement by alternative protein sources in pig nutrition and its effect on meat quality. *Animals*, 13(3), 494. <https://doi.org/10.3390/ani13030494>
49. Pieper, R., Taciak, M., Pieper, L., Święch, E., Tuśnio, A., Barszcz, M., Vahjen, W., Skomiał, J., & Zentek, J. (2016). Comparison of the nutritional value of diets containing differentially processed blue sweet lupin seeds or soybean meal for growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 221, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.026>
50. Reckmann, K., Blank, R., Traulsen, I., & Krieter, J. (2016). Comparative life cycle assessment (LCA) of pork using different protein sources in pig feed. *Archives Animal Breeding*, 59(1), 27–36. <https://doi.org/10.5194/aab-59-27-2016>
51. Remus, A., Andretta, I., Kipper, M., Lehnen, C. R., Klein, C. C., Lovatto, P. A., & Hauschild, L. (2013). A meta-analytical study about the relation of blood plasma addition in diets for piglets in the post-weaning and productive performance variables. *Livestock Science*, 155(2-3), 294–300. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.04.020>
52. Sanjayan, N., Heo, J. M., & Nyachoti, C. M. (2014). Nutrient digestibility and growth performance of pigs fed diets with different levels of canola meal from Brassica napus black and Brassica juncea yellow1. *Journal of Animal Science*, 92(9), 3895–3905. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7215>
53. Skylas, D. J., Paull, J. G., Hughes, D. G. D., Gogel, B., Long, H., Williams, B., Mundree, S., Blanchard, C. L., & Quail, K. J. (2019). Nutritional and anti-nutritional seed-quality traits of faba bean (*Vicia faba*) grown in South Australia. *Crop and Pasture Science*, 70(5), 463. <https://doi.org/10.1071/cp19017>
54. Smith, L. A., Houdijk, J. G. M., Homer, D., & Kyriazakis, I. (2013). Effects of dietary inclusion of pea and faba bean as a replacement for soybean meal on grower and finisher pig performance and carcass quality1. *Journal of Animal Science*, 91(8), 3733–3741. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6157>
55. Song, M., Che, T. M., Liu, Y., Soares, J. A., Harmon, B. G., & Pettigrew, J. E. (2012). Effects of dietary spray-dried egg on growth performance and health of weaned pigs1. *Journal of Animal Science*, 90(9), 3080–3087. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4305>
56. Spranghers, T., Michiels, J., Vrancx, J., Owyn, A., Eeckhout, M., De Clercq, P., & De Smet, S. (2018). Gut antimicrobial effects and nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae for weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*, 235, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.08.012>
57. Stein, H. H., Lagos, L. V., & Casas, G. A. (2016). Nutritional value of feed ingredients of plant origin fed to pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 218, 33–69. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.003>
58. Sulabo, R. C., Mathai, J. K., Usry, J. L., Ratliff, B. W., McKilligan, D. M., Moline, J. D., Xu, G., & Stein, H. H. (2013). Nutritional value of dried fermentation biomass, hydrolyzed porcine intestinal mucosa products, and fish meal fed to weanling pigs1. *Journal of Animal Science*, 91(6), 2802–2811. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5327>
59. Świątkiewicz, M., Olszewska, A., Grela, E. R., & Tyra, M. (2021). The effect of replacement of soybean meal with corn dried distillers grains with solubles (cDDGS) and differentiation of dietary fat sources on pig meat quality and fatty acid profile. *Animals*, 11(5), 1277.
60. Taliercio, E., & Kim, S. W. (2014). Identification of a second major antigenic epitope in the α -subunit of soy β -conglycinin. *Food and Agricultural Immunology*, 25(3), 311–321.
61. Taliercio, E., & Kim, S. W. (2013). Identification of a second major antigenic epitope in the α -subunit of soy β -conglycinin. *Food and Agricultural Immunology*, 25(3), 311–321. <https://doi.org/10.1080/09540105.2013.791969>
62. Thimmasandra Narayanappa, A., Sooryanarain, H., Deventhiran, J., Cao, D., Ammayappan Venkatachalam, B., Kambiranda, D., LeRoith, T., Heffron, C. L., Lindstrom, N., Hall, K., Jobst, P., Sexton, C., Meng, X.-J., & Elankumaran, S. (2015). A novel pathogenic mammalian orthoreovirus from diarrheic pigs and swine blood meal in the united states. *MBio*, 6(3). <https://doi.org/10.1128/mbio.00593-15>
63. Traylor, S. L., Cromwell, G. L., & Lindemann, M. D. (2005). Bioavailability of phosphorus in meat and bone meal for swine1,2. *Journal of Animal Science*, 83(5), 1054–1061. <https://doi.org/10.2527/2005.8351054x>
64. Tuśnio, A., Barszcz, M., Taciak, M., Święch, E., Wójtowicz, A., & Skomiał, J. (2021). The effect of a diet containing extruded faba bean seeds on growth performance and selected microbial activity indices in the large intestine of piglets. *Animals*, 11(6), 1703. <https://doi.org/10.3390/ani11061703>
65. van Zanten, H. H., Bikker, P., Meerburg, B. G., & de Boer, I. J. (2018). Attributional versus consequential life cycle assessment and feed optimization: alternative protein sources in pig diets. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23, 1–11.
66. Veldkamp, T., & Bosch, G. (2015). Insects: a protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. *Animal Frontiers*, 5(2), 45–50.
67. Veldkamp, T., & Vernooij, A. G. (2021). Use of insect products in pig diets. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 781–793. <https://doi.org/10.3920/jiff2020.0091>

68. Wallace, R. J., Gropp, J., Dierick, N., Costa, L. G., Martelli, G., Brantom, P. G., Bampidis, V., Renshaw, D. W., & Leng, L. (2016). Risks associated with endotoxins in feed additives produced by fermentation. *Environmental Health*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0087-2>
69. White, G. A., Smith, L. A., Houdijk, J. G. M., Homer, D., Kyriazakis, I., & Wiseman, J. (2015). Replacement of soya bean meal with peas and faba beans in growing/finishing pig diets: Effect on performance, carcass composition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 202–210. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.005>
70. Yaakob, Z., Ali, E., Zainal, A., Mohamad, M., & Takriff, M. (2014). An overview: Biomolecules from microalgae for animal feed and aquaculture. *Journal of Biological Research-Thessaloniki*, 21(1), 6. <https://doi.org/10.1186/2241-5793-21-6>
71. Yan, L., Lim, S. U., & Kim, I. H. (2012). Effect of fermented chlorella supplementation on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics, fecal microbial and fecal noxious gas content in growing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(12), 1742–1747. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12352>
72. Yu, M., Li, Z., Chen, W., Rong, T., Wang, G., Li, J., & Ma, X. (2019). Use of *Hermetia illucens* larvae as a dietary protein source: Effects on growth performance, carcass traits, and meat quality in finishing pigs. *Meat Science*, 158, 107837. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.05.008>

Sychov M. Yu., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Ilchuk I. I., PhD of Agricultural Sciences, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Balanchuk I. M., PhD of Agricultural Sciences, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Umanets D. P., PhD of Agricultural Sciences, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Holubieva T. A., PhD of Agricultural Sciences, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Pitera V. O., PhD of Agricultural Sciences, Assistant, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Vozniuk R. R., PhD of Agricultural Sciences, Assistant, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Protein sources in pig feeding: an overview

The aim of this study was to identify the most effective protein sources for pig feeding, taking into account nutritional value, amino acid digestibility, antinutritional factors, economic feasibility, and production needs. The research examines modern approaches to the selection and application of plant-based and animal-based protein sources in pig diets. Particular attention is given to the evaluation criteria for protein sources, including nutritional value, availability, environmental sustainability, economic feasibility, and potential risks associated with antinutritional substances.

Among plant-based sources, soybean meal demonstrates the highest value due to its optimal amino acid profile and high digestibility, which can reach up to 90%. However, its pre-treatment to reduce the level of trypsin inhibitors is a crucial aspect. Other plant components, such as rapeseed and sunflower meals, have their advantages but are limited by high fiber content and lower levels of key amino acids like lysine. Cottonseed meal is characterized by toxicity due to the presence of gossypol, while field peas offer low levels of antinutritional substances and significant energy value.

In the realm of animal-based protein sources, blood products, fish meal, and meat-and-bone meal stand out. Blood products provide high levels of lysine and easily digestible amino acids but require careful processing to mitigate contamination risks. Fish meal contains omega-3 fatty acids, which positively influence feed intake, although its use is constrained by high costs and quality variability. Meat-and-bone meal supplies essential minerals but is characterized by lower amino acid digestibility due to technological limitations.

Overall, effective ration management requires an integrated approach to the use of protein sources, considering their properties, processing potential, and the specific needs of pig feeding. A balanced combination of plant-based and animal-based protein sources allows for improved productivity, cost optimization, and minimization of the environmental impact of production.

Key words: pigs, pig farming, technology, protein, amino acids, feeding.