

УДК 636.084:635.8::544.723.22
doi 10.37143/2786-7730-2024-3(81)6

**АЛЬТЕРНАТИВНІ ШЛЯХИ ВИКОРИСТАННЯ ГРИБНОГО СУБСТРАТУ
ЯК ДОБАВОК ДО КОРМУ З МЕТОЮ ПОКРАЩЕННЯ
ПРОДУКТИВНОСТІ ТВАРИН У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ
(оглядова)**

Т. І. Тюпова, Г. М. Ткаченко, Н. М. Кургалюк
Інститут Біології, Поморський університет у Слупську
22B Arciszewskiego St., Słupsk, Poland 76-200

У сучасному сільському господарстві значну увагу приділяють пошуку ефективних та екологічно безпечних методів підвищення продуктивності тварин. Одним із перспективних напрямків є використання грибною субстрату як добавок до корму. Залишковий грибний субстрат часто розглядається як відходи, однак його переробка і використання можуть сприяти зменшенню витрат на корми та підвищенню рентабельності господарств. До того ж, використання грибною субстрату допомагає знизити навантаження на навколишнє середовище, сприяючи замкнутому циклу виробництва. У статті розглядаються альтернативні шляхи використання грибною субстрату як добавок до корму з метою покращення продуктивності тварин у сільському господарстві. Грибний субстрат, залишковий продукт після вирощування грибів, містить багатий комплекс поживних речовин, таких як білки, вітаміни, мінерали та інші біоактивні компоненти. Використання цього субстрату як кормової добавки може забезпечити економічні вигоди для фермерських господарств, знижуючи витрати на традиційні корми та підвищуючи продуктивність тварин. Дослідження свідчать про позитивний вплив грибною субстрату на здоров'я тварин, зокрема на підвищення імунітету та загальний фізіологічний стан. Окрім економічних переваг, використання грибною субстрату сприяє зменшенню обсягів відходів та покращенню екологічної стійкості сільського господарства, відповідаючи принципам кругової економіки та сталого розвитку. Метою цієї оглядової статті є аналіз альтернативних шляхів використання грибною субстрату як добавок до корму для тварин. У статті розглянуто сучасні дослідження та практичний досвід використання грибною субстрату, його хімічний склад та потенційні переваги для тваринництва. Особлива увага приділена впливу грибною субстрату на здоров'я тварин, їхню продуктивність та загальні економічні показники господарств. Розкриття потенціалу грибною субстрату як кормової добавки може стати важливим кроком у розвитку сталого сільського господарства, зокрема, в умовах зростаючого попиту на продовольство та ресурсів для його виробництва. Стаття підкреслює необхідність подальших досліджень для

Тюпова Тетяна Ігорівна, студент,

e-mail: ttyupova@gmail.com

Ткаченко Галина Михайлівна, д. біол. н., професор кафедри зоології

e-mail: halina.tkaczenko@upsl.edu.pl

Кургалюк Наталія Миколаївна, д. біол. н., професор кафедри фізіології тварин

e-mail: natalia.kurhaluk@upsl.edu.pl

<https://orcid.org/0000-0003-0929-8205>

<https://orcid.org/0000-0003-3951-9005>

<https://orcid.org/0000-0002-4669-1092>

оптимізації методів використання грибного субстрату в кормових раціонах різних видів тварин та розробки нових технологій його переробки. Практичне впровадження цих досліджень може значно підвищити ефективність та конкурентоспроможність аграрних підприємств.

Ключові слова: грибний субстрат, хімічний склад, добавка до корму, продуктивність тварин, сільське господарство, біоактивні компоненти, годівля.

Посилатися на статтю так:

БІБЛІОГРАФІЯ за ДСТУ: Тюпова Т. І., Ткаченко Г. М., Кургалюк Н. М. Альтернативні шляхи використання грибного субстрату як добавок до корму з метою покращення продуктивності тварин у сільському господарстві (оглядова). *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2024. Вип. 3(81). С. 63–106. doi: 10.37143/2786-7730-2024-3(81)6

REFERENCES за APA style: Tiupova, T. I., Tkaczenko, H. M., & Kurhaluk, N. M. (2024). Alternatyvni shliakhy vykorystannia hrybnoho substratu yak dobavok do kormu z metoiu pokrashchennia produktyvnosti tvaryn u silskomu hospodarstvi (ohliadova) [Alternative ways of using the mushroom substrate as an additive for feed with the purpose of improving animal productivity in agriculture (review)]. *Svynarstvo i ahropromyslove vyrobnytstvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 3(81), 163–106 [in Ukrainian]. doi: 10.37143/2786-7730-2024-3(81)6

Вступ. Зростання та розширення сільськогосподарського та харчового секторів супроводжується утворенням та накопиченням щороку величезної кількості агропромислових відходів, які стають суттєвою проблемою для навколишнього середовища. Ці відходи включають рештки рослин, відходи тваринництва, харчові залишки та інші побічні продукти. Mirabella та ін. визначають агропромислові відходи як «відходи, що утворюються під час промислової переробки сільськогосподарських або тваринницьких продуктів, або відходи, отримані від сільськогосподарської діяльності» [1]. Зменшення та ефективне використання агропромислових відходів є важливим напрямком для сталого розвитку аграрного сектору та зменшення його екологічного впливу. Традиційні методи утилізації агропромислових відходів часто виявляються неефективними або екологічно шкідливими, що спонукає науковців та аграріїв шукати альтернативні шляхи їх використання. Один з перспективних напрямків полягає у використанні відпрацьованого грибного субстрату як добавки до корму для тварин з метою підвищення їх продуктивності.

Користь споживання грибів для покращення здоров'я та самопочуття людини загально визнана. Вони містять низку поживних речовин і біологічно активних сполук, які позитивно впливають на різні аспекти здоров'я [2]. Гриби є цінним доповненням до раціону завдяки своїм численним поживним властивостям та здатності підтримувати загальне здоров'я та самопочуття [3]. Відповідний попит на споживання грибів значно зріс на всіх континентах в останніх роках, а комерціалізація їстівних грибів сьогодні стала світовим бізнесом [4].

Гриби культивують на субстратах на основі рослинної біомаси, наприклад на поживних та невикористаних залишках деревини, кількість яких постійно збільшуються в результаті розширення сільськогосподарського виробництва. Нині спалювання є одним з основних методів боротьби з накопиченням рослинних залишків. Однак ця широко поширена практика суперечить принципам стійкості розвитку та суттєво сприяє забрудненню повітря [5] і призводить до значної втрати ресурсів біомаси, які є дуже цінними для виробництва матеріалів, палива та хімікатів високої економічної та соціальної цінності [6].

Китайська грибна промисловість є потужним сектором, який відіграє важливу роль у глобальному виробництві грибів, на який припадає близько 75 % світового щорічного виробництва, та має значний вплив на економіку, соціальні умови та екологію [7]. Продукція кожного кілограму грибів утворює близько 5 кг відходів, причому велика кількість відпрацьованого грибного субстрату (англ. *spent mushroom substrate*, SMS) виробляється під час вирощування грибів із річним виробництвом понад 13 мільйонів тонн [8]. Зараз не існує ефективного методу утилізації SMS, що призводить до серйозних екологічних проблем і марнує цей дорогоцінний ресурс. З наголосом на цьому питанні SMS поступово відіграє все більш важливу роль у сільському господарстві, наприклад, прискорює дозрівання компосту [9], покращує морфологічний ріст розсади перцю та томатів [10, 11], а також підвищує вміст органічних та поживних речовин у ґрунті [12]. Навіть попри те, що великі об'єми SMS вже використовуються в різних галузях виробництва, отримувана щороку їх кількість усе ще перевищує використаний об'єм [13].

Враховуючи поточний глобальний захист навколишнього середовища та економічний розвиток, повна утилізація SMS у тваринництві стає все більш проблемною та актуальною. На цей час вже проведено багато досліджень щодо обробки та використання SMS [14, 15]. Він вважається якісною добавкою до корму для тварин з поживною цінністю, багатим полісахаридами, вітамінами та мікроелементами [16], який легко перетравлюється та поглинається жуйними тваринами, такими як велика рогата худоба [17] і вівці [18].

Проблематика. Систематика грибів зараз охоплює величезну їх кількість, що включає приблизно 12 000 видів, серед яких понад 2000 видів виділяються як їстівні та ті, що мають терапевтичні властивості [19–21]. У 2018 р. світовий ринок грибів досяг помітного обсягу в 13 мільйонів тонн, а прогнози вказують на значне зростання до 21 млн тонн до 2026 р. [22, 23]. У міру розвитку грибної промисловості утворюється побічний продукт, відомий як відпрацьований грибний субстрат. Відпрацьований грибний субстрат (SMS) – це залишкова біомаса, що утворюється після збирання плодових тіл їстівних і лікарських грибів [24]. Наприкінці процесу культивування грибів плодове тіла збирають, в результаті чого утворюється виснажений залишковий субстрат. Ці збіднені поживними речовинами відходи біомаси є основним побічним продуктом грибної промисловості. Залежно від природи матеріалів, які використовуються для приготування субстрату, типу виробничої системи та культивованих видів, на кілограм свіжих грибів утворюється від трьох до п'яти кілограмів SMS [25].

SMS, що містить залишковий грибковий міцелій, лігноцелюлозну біомасу та ферменти, привернув увагу як цікавий продукт відходів [23, 26, 27]. Склад необробленого SMS може бути змінним залежно від джерела середовища для культивування грибів і містити целюлозу (до 48,7 %), геміцелюлозу (34 %) та лігнін (39,8 %). SMS також служить джерелом вітамінів і мінералів, включаючи залізо, магній, цинк і кальцій. Крім того, він надзвичайно багатий біоактивними сполуками, включаючи полісахариди, поліпептиди та фенольні сполуки. SMS додатково містить цінні ферменти; дослідження показали, що SMS з *Lentinula edodes*, *Agaricus bisporus* та *Pleurotus eryngii* містить такі ферменти, як β -глюканаза, ксиланаза, лакказа та фітаза [23].

Велика кількість утвореного SMS, який наразі вважається відходами з невеликою внутрішньою цінністю, є серйозною проблемою для виробників грибів через необхідність знайти відповідні місця для його утилізації та високі витрати на транспортування великогабаритного матеріалу з високою вологістю і низькою

щільністю, причому сушіння свіжого SMS залишається енергомісткою процедурою. На додаток, обробка та утилізація SMS викликає основне занепокоєння через викид парникових газів у результаті спонтанного анаеробного зброджування (часто відбувається в купах, утворених під час тимчасового зберігання), неприємних запахів та дренажу фільтрату, що спричиняє забруднення та евтрофікацію [28]. Захоронення традиційно було основною стратегією утилізації SMS, але зараз це заборонено в Європейському Союзі Директивою Ради щодо захоронення біорозкладальних відходів [29]. Нинішній лінійний підхід «взяти, зробити, утилізувати», де SMS розглядається як відходи, загрожує майбутньому розвитку сектору вирощування грибів. Валоризація SMS має вирішальне значення для розвитку стійкої грибної промисловості в рамках моделі циклічної економіки. Важливо дослідити характеристики SMS, щоб визначити відповідні альтернативи валоризації.

Отже, відпрацьований грибний субстрат є побічним продуктом вирощування грибів і зазвичай містить залишки органічних матеріалів, які можуть мати значну поживну цінність. Використання SMS як кормової добавки може не тільки зменшити кількість відходів, але й забезпечити додаткові переваги для тваринництва. У цьому огляді ми розглянемо сучасні дослідження та практичні застосування відпрацьованого грибного субстрату як кормової добавки. Особливу увагу буде приділено його впливу на продуктивність різних видів сільськогосподарських тварин, економічну ефективність та екологічні аспекти. Ми також обговоримо перспективи та можливі виклики, пов'язані з інтеграцією цього методу в сучасне сільське господарство.

Шляхи використання грибного субстрату. Валоризація відпрацьованого субстрату має вирішальне значення для стійкої грибної промисловості. Саме тому питання використання органічних залишків після збору вирощених грибів стає все більш актуальним у наш час (рис. 1).



Рис. 1. Шляхи валоризації відпрацьованого грибного субстрату (за Martín та ін., 2023).

Кількість альтернатив для валоризації грибного субстрату дійсно вражає (таб. 1). Окрім виробництва харчових продуктів, вирощування грибів є прикладом цілісного використання залишків лігноцелюлозної біомаси за допомогою ефективного безперервного процесу, що здійснюється в закритому приміщенні, яке вимагає значно менших земельних площ, ніж більшість інших культур [30]. Крім того, на відміну від звичайного сільського господарства, яке залежить від сезону, вирощування грибів може здійснюватися протягом року незалежно від кліматичних умов.

Таблиця 1. Альтернативні шляхи використання грибного субстрату

Шлях використання	Гриб	Субстрат	Ефективність	Джерело
Повторне використання відпрацьованого грибного субстрату для нового вирощування грибів	<i>Agaricus bisporus</i> → <i>Pleurotus ostreatus</i>	Пшенична солома	53 – 56 %	[31]
	<i>Pleurotus ostreatus</i> → <i>Pleurotus ostreatus</i>	Пшенична солома, пшеничні висівки, соєве борошно та CaCO ₃	185 %	[32]
	<i>Cyclocybe cylindracea</i> → <i>Auricularia polytricha</i>	Тирса	41 – 59 %	[33]
Шлях використання	Походження грибного субстрату	Тип корму	Тварини на відгодівлі	Джерело
Використання відпрацьованого грибного субстрату як корму для тварин	<i>Lentinula edodes</i>	SMS (3 %), ферментований <i>Bacillus subtilis</i> , 33 дні	Відлучені поросята	[34]
	<i>Agaricus bisporus</i>	SMS (15 %), 170 днів	Телята голштинської породи	[35]
	<i>Pleurotus ostreatus</i>	SMS (5, 10, 15 і 20 %), 70 днів	Вівці Авасі	[36]
Шлях використання	Походження грибного субстрату	Суміш	Результат	Джерело
Використання відпрацьованого грибного субстрату як біодобрива	<i>Agaricus bisporus</i>	SMS, інтегрований у ґрунт у дозах 25 та 100 мг/га (суха маса)	SMS у деградованих ґрунтах виноградників посилює активність дегідрогенази, активність дихання та мікробну біомасу ґрунту	[37]
	<i>Auricularia auricula-judae</i>	Компост SMS, залишки біогазу та свинячий гній (1:1:1) у розсадних горщиках	Кращу якість розсади було отримано при використанні субстрату на основі SMS, ніж при використанні комерційних субстратів для розсади	[38]
	<i>Flammulina velutipes</i>	Свіжий або стерилізований SMS (5 %, мас./мас.) змішаний із землею в скляних банках	Загальний і розчинений ОС, вуглець і азот мікробної біомаси, чисельність і різноманітність бактерій і грибів, а також активність ферментів були посилені	[39]

Продовження таблиці 1

Шлях використання	Походження грибного субстрату	Рослина-шкідник	Результат	Джерело
Використання відпрацьованого грибного субстрату для боротьби з хворобами рослин	<i>Lentinula edodes</i>	Гусимка <i>Alternaria brassicicola</i>	Нановолокнистий комплекс SMS хітин/целюлоза продемонстрував пригнічення захворювання та стимулювання росту	[40]
	<i>Pleurotus ostreatus</i>	Помідори – <i>Fusarium oxysporum</i> (фузаріоз)	SMS, біозбагачений <i>Trichoderma asperellum</i> , зменшив тяжкість захворювання на 21,2–84,3 %	[41]
	<i>Agaricus bisporus</i>	Помідори – <i>Septoria lycopersici</i> (хвороба плямистості листя)	Рослини, вирощені на SMS-вмісних субстратах виявилися стійкими до інфекцій, спричинених <i>S. lycopersici</i>	[42]
Шлях використання	Гриб	Гідролази	Оксидоредуктази	Джерело
Відпрацьований грибний субстрат як джерело ферментів	<i>Tremella fuciformis</i>	Ксиланаза, целюлаза, пектиназа	–	[43]
	<i>Agaricus bisporus</i>	Ендоксиланаза, β-ксилозидаза, ксилан-ацетилестераза, арабінофуранозидаза, ендоглюканаза, целлобіогідролаза, β-глюкозидаза	Пероксидаза, фенооксидаза	[44]
	<i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>Lentinula edodes</i> , <i>Hericium erinaceus</i> , <i>Flammulina velutipes</i>	α-амілаза, целюлаза, ксиланаза, β-глюкозидаза	лакказа	[45]

Продовження таблиці 1

Шлях використання	Гриб	Речовина	Властивості	Джерело
Видилення біологічно активних речовин із відпрацьованого грибного субстрату	<i>Lentinula edodes</i>	Полісахарид, що складається з ангідрманнози, ангідроглюкози та ангідро-маннози	Гетерополісахарид з антибактеріальною активністю	[15]
	<i>Ganoderma lucidum</i>	Полісахариди	Антиоксидантна активність	[46]
	<i>Pleurotus ostreatus</i>	Неочищені полісахариди	Захисна дія проти хвороб рослин	[47]

Використання відпрацьованого грибного субстрату як корм для свійських тварин. Нестача кормової сировини та її вартість завжди були важливим чинником, що стримував розвиток галузі тваринництва [48]. В останні роки розробка та використання нових кормових ресурсів стала актуальною проблемою, яку необхідно вирішити [49]. Нині висока вартість кормів є однією з головних проблем тваринницьких ферм. Фермерам часто доводиться скорочувати поголів'я тварин через високу ціну на комерційні корми, щоб врівноважити кількість голів та вартість кормів [50, 51]. Сільськогосподарським тваринам можна згодувувати технологічні та сільськогосподарські побічні продукти [52–54]. Вони повертають ці залишки назад у харчовий ланцюг.

Використання відпрацьованого грибного субстрату як кормової добавки для свійських тварин має великий потенціал і може сприяти покращенню продуктивності тваринництва, зменшенню витрат на корми та зниженню екологічного впливу. Подальші дослідження та впровадження цього методу в практику можуть допомогти досягти більш сталого та ефективного сільського господарства. Як правило, ціна корму є основною змінною витрат для тваринницьких ферм, а використання агропромислових відходів як альтернативних кормів може допомогти зменшити витрати на годування тварин та забруднення навколишнього середовища. Субстрати, що залишилися після вирощування грибів, багаті мікроорганізмами, позаклітинними ферментами та азотом, який, як вважають, потенційно можна використовувати як корм для тварин [55]. Включення SMS у раціон свійських тварин може сприяти підвищенню їхньої продуктивності завдяки високій поживній цінності субстрату. Завдяки вмісту корисних речовин, SMS може сприяти зміцненню імунної системи тварин та зменшенню захворюваності [56]. Використання SMS може знизити витрати на корми, оскільки цей побічний продукт є дешевим і доступним ресурсом. Утилізація SMS знижує кількість відходів та зменшує екологічне навантаження на навколишнє середовище [24].

Гриби вирощують у субстраті, який називається компостом і складається переважно з лігноцелюлозного матеріалу [57]. Утилізація використаного компосту наприкінці вирощування грибів є не тільки дорогою з точки зору виробничих одиниць процедурою, але й спричиняє значні екологічні проблеми. Під час росту міцелій грибів білої гнилі виділяє численні активні ферменти, здатні розщеплювати лігнін і покращувати засвоюваність субстрату [23]. Корисність ферментів грибів у перетравленні корму також була підкреслена [58]. Крім того, грибний субстрат багатий біоактивними компонентами, такими як полісахариди, вітаміни та деякі мікроелементи [59], сприяє процесам бродіння в рубці тварин. Mhlongo та ін. [60]

дійшли висновку, що обробка відходів виноградних вичавок екстрактами з гливи знижує рівень клітковини та підвищує вміст сирого протеїну. Подібні результати були отримані Ahmed та ін. [61], де обробка пшеничної соломи грибами підвищила перетравлюваність сухої речовини (DM) і сирого протеїну (CP).

Було проведено багато досліджень щодо переваг і методів обробки кормів на основі SMS [14, 15]. Широко повідомлялося про використання SMS у перероблюванні [62] та заготівлі кормів для тварин [63–65]. SMS можуть легко засвоюватися жуйними і підходять для годівлі тварин, таких як корови [17] і вівці [18]. Крім того, SMS вважається кормом для тварин з високою поживною цінністю [16].

Відпрацьований грибний субстрат при годівлі свійських птахів.

Відпрацьований грибний субстрат при годівлі курчат-бройлерів.

Відпрацьований грибний субстрат має великий потенціал для використання як кормової добавки в годівлі курчат-бройлерів. Цей підхід може допомогти знизити витрати на корми та покращити продуктивність птахів, завдяки високому вмісту поживних речовин у субстраті. Використання відпрацьованого грибного субстрату в годівлі курчат-бройлерів є перспективним напрямком, який може сприяти підвищенню продуктивності птахів, зниженню витрат на корми та зменшенню екологічного навантаження. Подальші дослідження і практичне впровадження цього методу можуть допомогти досягти більш сталого та ефективного виробництва в галузі птахівництва.

Величезні покращення в харчуванні курчат-бройлерів призвели до збільшення продукції м'яса протягом коротких виробничих циклів та зробили цих птахів найбільш стратегічним сектором тваринництва для стійкого досягнення безпечної їжі, багатой на білки [66]. Дійсно, курчата-бройлери займають перше місце в щорічних прогнозах виробництва м'яса в усьому світі [67], причому їхнє м'ясо є найбільш споживаним м'ясом тваринного походження [68]. Щоб досягти високого рівня продуктивності, цих птахів традиційно годують багатими на поживні речовини раціонами, причому соєвий шрот (англ. *soya bean meal*, SBM) найчастіше використовується у всьому світі внаслідок високого вмісту сирого протеїну та збалансованого профілю амінокислот [69].

На жаль, ціна SBM часто змінюється в усьому світі з тенденцією до зростання [70]. Крім того, використання соєвих бобів для виробництва біопалива [71, 72], а також як їжі для людей поглиблює конкуренцію між їжею для людини та кормом для тварин [73]. Крім того, бобові переважно виробляються в Америці, зокрема 80 % загального світового їх виробництва належить Бразилії (33 %), США (28 %) та Аргентині (16 %) [74]; більшість країн несуть величезні витрати на їх імпорт. Ці фактори призводять до надмірних витрат на корми для курчат-бройлерів, які, як повідомляється, становлять приблизно 65 – 75 % загальних змінних витрат у годівлі птахів [75, 76]. На додаток, інтенсифікація та розширення сільськогосподарських угідь для виробництва сої не тільки погіршують стан навколишнього середовища, але й спричиняють витрати на вирубку лісів та природної рослинності [77]. Разом ці фактори підкреслюють необхідність дослідження економічно ефективних та екологічно стійких альтернативних джерел білка.

У своєму дослідженні Mthana та Mthiyane [78] вивчали покращувальну дію відпрацьованого субстрату гливи (*Pleurotus ostreatus*) (OMSS) (рис. 2) у годівлі курчат-бройлерів, яких годували раціонами, доповненими комбінацією з макухи з

насіння марули (MSC) і шроту з насіння мукуни (MSM) (рис. 2), як заміну соєвого шроту (SBM).



Рис. 2. Глива (*Pleurotus ostreatus*), мукуна (*Mucuna pruriens* (L.) DC.) та марула (*Sclerocarya birrea* Hochst.)
джерело: <https://pl.wikipedia.org/wiki>

У рандомізованому дослідженні 400 одноденних курчат-бройлерів кросу Ross 308 розподіляли на 5 груп, яких годували раціонами з однаковим рівнем перетравного протеїну й обмінної енергії, що містили у своєму складі: 100 % SBM (контроль); 60 % MSC та 40 % MSM замість SBM (MSC + MSM); MSC + MSM з 1,25 % OMSS; MSC + MSM з 2,5 % OMSS і MSC + MSM з 5 % OMSS. Зазначені раціони використовували протягом всього 42-денного періоду вирощування. Результати дослідження наведено у таблиці 2.

Як показують результати цього дослідження, коли курчата досягли фізіологічної зрілості після стартової фази, включення в раціон низького рівня OMSS (1,25%), як виявилось, покращило продуктивність і забійні характеристики тушки, збільшуючи приріст живої маси завдяки підвищенню секреторної активності травних ферментів шлунку і покращення різноманітності та функціональності його мікробіома для ферментації раціону, багатого клітковиною [78]. Крім того, позаклітинні ферменти оксидоредуктази, які, як вважають, інтенсивно виділяються міцелієм гливи у OMSS, мають потужні антиоксидантні властивості [79] і здатні підвищувати антиоксидантну активність тканин птахів, яких годували використаним субстратом [80], що в результаті, як видається, ефективно зменшує інтенсивність окиснювального стресу, викликаного шкідливими хімічними елементами в MSC і MSM. Ці дані підтверджують попередні висновки Lee та ін. [81] і Chuang та ін. [80], які спостерігали покращення кишкової бар'єрної функції, засвоєння поживних речовин і рівнів Toll-рецепторів 4 (Toll-like receptor 4, TLR4) у курчат-бройлерів, яких годували раціонами з низькими (0,5 % і 1 %), а не високими (>1 %) рівнями OMSS. Крім того, OMSS містить біоактивні сполуки, які викликають м'якість м'яса, особливо при включенні в раціон на рівні 1,25 % [78]. Таким чином, дані Mthana та Mthiyane показали, що заміна SBM комбінацією MSC плюс MSM спричинила шкідливий вплив на продуктивність бройлерів, забійні характеристики тушки, внутрішні органи, біохімічні показники крові та якість м'яса, але цей вплив невілювався включенням 1,25 % OMSS [78].

Таблиця 2. Дія відпрацьованого субстрату гливи (*Pleurotus ostreatus*) у раціоні курчат-бройлерів

Раціон	Показник	Результат (проти контролю)
MSC + MSM	споживання корму	зменшення
	приріст живої маси та ефективність конверсії корму	зменшення
	забійна маса, маса патраної парної тушки, маса охолодженої тушки, забійний вихід грудної частини, довжина спинки	зменшення
	забійний вихід стегна, печінки, передшлунку, шлунку, дванадцятипалої кишки, порожньої, клубової і сліпої кишок	збільшення
	рівень лужної фосфатази і холестерину у сироватці крові	збільшення
	рівень аланінамінотрансферази у сироватці крові	зменшення
	почервоніння м'яса через 45 хв. після забою	збільшення
	зміна відтінку м'яса через 45 хв. після забою	зменшення
	pH м'яса через 24 години після забою	зниження
		(проти MSC + MSM)
	приріст живої маси, споживання корму	збільшення (при 1,25 % OMSS)
+OMSS	ефективність конверсії корму	збільшення (при 5 % OMSS)
	шкідливий вплив MSC та MSM на забійну масу, масу парної і охолодженої тушки і забійний вихід шлунка	зменшення (при 1,25 % OMSS)
	рівень аланінамінотрансферази у сироватці крові	зменшення
	рівень лужної фосфатази і холестерину у сироватці крові	збільшення

Відпрацьований грибний субстрат при відгодівлі перепелів. Птахівництво є одним із життєво важливих компонентів глобального сільського господарства, забезпечуючи цінне джерело тваринного білка для людей [82]. Серед паразитарних хвороб кокцидіоз виділяється як найбільш критична проблема у птахівництві, спричинена облигатними кишковими найпростішими виду *Eimeria* [83]. Кокцидіоз, зазвичай, призводить до пошкодження кишечника, внаслідок чого знижується ефективність споживання корму та відбувається запалення як тонкої, так і товстої кишок і діарея. У важких випадках це може навіть призвести до смертності птахів, що є задокументованим фактом [84].

Шлунково-кишковий тракт птахів містить сім різних видів пташиних кокцидій, які локалізуються в різних його ділянках [85]. Серед них *E. tenella* є найпоширенішим і значущим видом кокцидій, яка спричинює значні економічні втрати у птахівництві і підвищений рівень смертності птахів [86]. Традиційний метод антибіотикотерапії шляхом додавання тваринам субтерапевтичних доз у їжу для захисту від кокцидіозу та загального покращення функціонування кишечника

зараз піддається ретельному огляду і дискусії. Побоювання щодо стійкості до ліків і нещодавньої заборони антибіотиків як кормових добавок у Європейському Союзі, а також помітне погіршення здоров'я тварин, що призводить до збільшення кишкових захворювань [87], спонукають дослідників шукати альтернативні стратегії боротьби з інфекційними захворюваннями [88].

Nasir та ін. [89] досліджували потенціал використання відходів з ніжки гливи *Pleurotus ostreatus* як природної харчової добавки для підтримки продуктивності, росту та функціонування кишечника перепелів в моделі експериментально викликаного кокцидіозу. У цьому дослідженні взяли участь 600 японських перепелів, віком від 1 до 42 днів. Їх розмістили в 40 загонах по 15 птахів у кожному загоні. Після вилуплення птахів їх розподіляли на чотири групи (150 птахів в групі): контрольну негативну групу птахів, яка отримувала базовий раціон без будь-яких антикоксидних препаратів; групу позитивного контролю, яка складалася з птахів, заражених *Eimeria tenella*; групу, яка отримувала базовий раціон з антикоксидним препаратом (стандарт); і групу, яка отримувала базовий раціон з додаванням 3 % відходів ніжки гливи *Pleurotus ostreatus*. Антикоксидним засобом був ампроліум (Huvepharma Inc., місто Пічтрі, штат Джорджія, США) в дозі 1,25 г/л. Ніжки *P. ostreatus* сушили при 55°C протягом 72 годин, після чого їх подрібнювали та додавали до кормового раціону [89] (табл. 3).

Таблиця 3. Дія відходів ніжки гливи (*Pleurotus ostreatus*) в раціоні японських перепелів

Група	Ефективність
Контрольна група птахів, яка отримувала базовий раціон без будь-яких антикоксидних препаратів	на основі результатів отриманих у цій групі птахів порівнювали результати в інших дослідних групах
Група позитивного контролю, яка складалася з птахів, заражених <i>Eimeria tenella</i>	споживання корму, приріст живої маси та ефективність конверсії корму були значно нижчими
Група, яка отримувала базовий раціон з антикоксидним препаратом (стандарт)	показники продуктивності були подібними до негативного контролю; не було різниці у рівні смертності, кількості ооцист у фекаліях та ступеню ураження сліпого відділу кишечника між групами
Група, яка отримувала базовий раціон з додаванням 3 % відходів ніжки гливи <i>Pleurotus ostreatus</i>	які отримували стандартну терапію та 3 % <i>Pleurotus ostreatus</i> ; також у цих групах висота та ширина ворсинок кишечника були значно вищими порівняно з позитивним контролем; основний раціон з додаванням 3 % відходів ніжки гливи <i>Pleurotus ostreatus</i> ефективно підвищував низьку швидкість росту японських перепелів, спричинену кокцидіальною інфекцією

Відпрацьований грибний субстрат при відгодівлі курей-несучок. Оскільки використання антибіотиків у кормах для птиці припинено, було вжито заходів для покращення здоров'я їх кишечника. Його здоровий мікробіотний стан, що характеризується високою різноманітністю мікроорганізмів, покращує

функціональне різноманіття, а також взаємодію мікроб-мікроб і господар-мікроб. Цей стан також називають станом рівноваги або стаціонарним станом [90, 91].

Антибіотичні стимулятори росту (АСР) відіграють вирішальну роль у тваринництві вже понад півстоліття [92]. Серед них лівоміцетин (синоніми: бамберміцин, мономіцин, флавофосфоліпол) є типовим гліколіпідфосфатним антибіотиком, який діє на грампозитивні бактерії та відіграє роль у стимулюванні продуктивності росту курей [93, 94]. Однак надмірне використання антибіотиків призвело до зростання антимікробної стійкості. У відповідь на цю загрозу громадському здоров'ю в 2006 р. Європейський Союз запровадив заборону на використання антибіотиків як стимуляторів росту [95].

Останніми роками зростає кількість наукових досліджень, які демонструють позитивний вплив харчових волокон на здоров'я та продуктивність курей [96, 97]. Експерименти в годівлі переважно проводилися з нерозчинними джерелами клітковини, які утворюються як побічні продукти під час промислового виробництва, такими як лушпиння вівса, соняшнику, соєвих бобів, пшеничні висівки та деревна стружка [98].

Опеньок зимовий (*Flammulina velutipes*) є одним із найпопулярніших їстівних грибів, що є багатим джерелом біологічно активних речовин (вуглеводи, харчові волокна, глікопротеїни, поліфеноли тощо) (рис. 3) [99, 100]. Річні темпи вирощування *F. velutipes* у Китаї перевищили 2,5 млн тонн з 2013 по 2019 рр. [101]. У результаті таких інтенсивних темпів вирощування утворюється велика кількість його продуктів переробки (відходів).



Рис. 3. Опеньок зимовий (*Flammulina velutipes*)
(джерело: <https://pl.wikipedia.org/wiki>)

Вплив листових відходів *Flammulina velutipes* (FVW) на мікробіоту сліпої кишки Wei і ін. [101] оцінювали протягом тривалого періоду дослідження, 490 днів. Загалом 450 коричневих курчат несучок ISA, придбаних у комерційному інкубаторі, випадковим чином розділили на 5 груп (3 експерименти/групу, 30 курчат на 1 експеримент): BD (базальний раціон), FLA (базальний раціон із додаванням 5 ppm флавоміцину), LFVW (базальний раціон з 2 % FVW), MFVW (базальний раціон з 4 % FVW) і HFVW (базальний раціон з 6 % FVW). Різні групи годували *ad libitum* стартовими раціонами від 1 до 28 днів, раціонами для вирощування від 29 до 70 днів, раціонами для розвитку від 71 до 112 днів і фінішними раціонами від 113 до 490 днів (табл. 4).

Таблиця 4. Вплив листкових відходів опенька зимового (*Flammulina velutipes*) на кишкову мікробіоту курей-несучок

Раціон	Результат
Основний раціон (без добавок)	контрольна група – на основі результатів отриманих у цій групі порівнювали результати в інших дослідних групах
Основний раціон + флівоміцетин, 5 ppm	збільшення відносної чисельності родин <i>Ruminococcaceae</i> , <i>Desulfovibrio</i> , <i>Peptococcus</i> , <i>Enterorhabdus</i> та <i>Faecalicoccus</i> ; у побудованих мережах співпоширеності метагрупувань взаємодіючих родин визначено найбільшу кількість позитивних зв'язків між <i>Firmicutes</i> та <i>Firmicutes</i> , <i>Bacteroidetes</i> та <i>Bacteroidetes</i> і негативних зв'язків між <i>Firmicutes</i> та <i>Bacteroidetes</i> , водночас було виявлено найменшу кількість негативних кореляцій між <i>Firmicutes</i> та <i>Firmicutes</i> , <i>Bacteroidetes</i> та <i>Bacteroidetes</i> і позитивних кореляцій між <i>Firmicutes</i> та <i>Bacteroidetes</i>
Основний раціон + 2 % <i>Flammulina velutipes</i> (низький вміст)	збільшення відносної чисельності мікроорганізмів родин <i>Sutterella</i> та <i>Ruminiclostridium</i> ; посилення позитивної кореляції між <i>Firmicutes</i> та <i>Bacteroidetes</i> і ослабленням позитивної кореляції між <i>Firmicutes</i> та <i>Bacteroidetes</i>
Основний раціон + 4 % <i>Flammulina velutipes</i> (середній вміст)	збільшення чисельності родин <i>Synergistes</i> та <i>Anaerostipes</i> ; найбільш значні зміни у мікробних взаємодіях
Основний раціон + 6 % <i>Flammulina velutipes</i> (високий вміст)	збільшення чисельності родин <i>Rikenellaceae</i> та <i>Synergistes</i>

Використовуючи клональне секвенування та високопродуктивне секвенування 16S рРНК, Wei і ін. показали, що FVW покращує мікробну різноманітність у кишечнику курей. Еволюція мікробіоти покращила фізіологічний розвиток курей-несучок. Добавки FVW збагатили відносну кількість *Sutterella*, *Ruminiclostridium*, *Synergistes*, *Anaerostipes* і *Rikenellaceae*, посилили позитивний зв'язок між *Firmicutes* і *Bacteroidetes* і підвищили концентрацію коротколанцюгових жирних кислот (SCFA) на ранньому етапі життя. FVW підтримує гомеостаз кишкової мікробіоти, регулюючи баланс Т-лімфоцитів (Th1, Th2 і Th17) і рівня секреторного імуноглобуліну А (S-IgA). Таким чином, FVW індукує мікробні зміни, які є потенційно корисними для імунітету кишечника курей-несучок.

Рівень продуктивності яєць у пізніх несучок негативно корелює з їх віком. Зниження функції печінки та яєчників у старих курей-несучок супроводжується зниженням антиоксидантної здатності, рівня репродуктивних гормонів і розвитку фолікулів, що призводить до зниження синтезу попередників жовтка.

У самок тварин старіння починається із гальмування функціонування репродуктивної системи та проявляється аномальною секрецією стероїдних гормонів і порушеннями ліпідного обміну, а також поступовою втратою репродуктивної здатності при значному підвищенні ризику захворювань [102].

Пошкодження клітинних структур активними формами кисню (ROS) є однією з багатьох причин вікових змін у функції яєчників [103]. Надлишок ROS призводить до окиснювального пошкодження ооцитів і гранульозних клітин у фолікулах курей-несучок, що супроводжується зниженням продукції стероїдних гормонів і збільшенням фолікулярної атрезії [104, 105]. Крім того, кілька досліджень показали, що у свійської птиці виявлено кореляцію між репродуктивною функцією та віком, а також участю ROS у функціонуванні їх репродуктивної системи [106].

Також продемонстровано, що зниження продуктивності яєць у курей-несучок безпосередньо пов'язане зі зниженням рівня гонадотропінів і статевих гормонів, а також зниженням продукції попередників жовтка в печінці [107, 108]. Порушення балансу між продукцією та елімінацією ROS призводить до окиснювального стресу, зниження рівня репродуктивних гормонів і первинного фолікулярного резерву в яєчниках, метаболізму і транспорту ліпідів у печінці, а також зниження виробництва попередників жовтка та їх відкладення в ооциті, що, своєю чергою, призводить до значного зниження продукції яєць і їх вибракування [106, 109].

Попередники жовтка включають ліпопротеїн Y дуже низької щільності (VLDL_Y) і жовтковий протеїноген вітелогенін (VTG), які є основою для утворення жовтка [110]. Аполіпопротеїн B (ApoB) і аполіпопротеїн II дуже низької щільності (ApoVLDL_{II}) відіграють важливу роль у синтезі та обробці при утворенні та модифікації VLDL_Y [111]. Основна роль вищезазначених попередників жовтка полягає в транспортуванні джерел енергії, таких як тригліцериди (TG) і загальний холестерин (Т-СНО), синтезованих печінкою, до яєчника для розвитку фолікулів і ооцитів та забезпечення основних джерел енергії для синтезу жовтка [112]. Кількість утворених попередників жовтка контролюється естрадіолом (E₂), який транспортується з яєчника в печінку, де регулює синтез вітелогеніну II (VTG_{II}), ApoB та ApoVLDL_{II}, націлюючись на рецептор естрогену (ER)-α і ER-β, тим самим сприяючи виробленню попередників жовтка [113]. VLDL_Y та VTG досягають яєчника з кровотоку і потрапляють в ооцит шляхом ендоцитозу, опосередкованого рецептором ліпопротеїдів дуже низької щільності (VLDLR), полегшуючи його розвиток у фолікулі і, зрештою, утворення жовтка [114]. Враховуючи вищеописаний механізм сигнальної осі старіння-кров-яєчники в продукції яєць, ослаблюючи інтенсивність старіння курей-несучок і запобігаючи зниженню функції їх яєчників, можна не тільки підвищити продукцію яєць, але й подовжити тривалість їх життя, зберегти витрати на корм і підвищити економічну вигідність.

Останніми роками багато дослідників, які у своїх дослідках додавали до раціону птахів природні антиоксиданти або рослинні екстракти, такі як ресвератрол, лікопен, проантоціанідини, бетаїн і кверцетин, дійшли висновку, що всі вони підтримують нормальну продукцію яєць шляхом зменшення окиснювального стресу під час послаблення функціонування репродуктивної системи, таким чином збільшуючи продукцію попередників жовтка [115–118].

Опеньок зимовий (*Flammulina velutipes*) виявляє гіполіпідемічну, протизапальну, антиоксидантну та імуномодулюючу дію як харчовий і лікарський гриб [119]. Він багатий полісахаридами, поліфенолами, флавоноїдами, вітамінами та іншими активними компонентами, серед яких полісахариди, поліфеноли та флавоноїди продемонстрували істотні антиоксидантні властивості в дослідженнях *in vitro* та *in vivo* [120, 121]. Інші дослідження показали, що оскільки деякі флавоноїди можуть проявляти естроген-подібний ефект у тварин як фітоестрогени, опеньок зимовий може діяти як агоніст для підтримки репродуктивного

гормонального гомеостазу в організмі під час станів з низьким рівнем естрогенів [122]. Ніжки *F. velutipes* часто є відходами продукції цього гриба. Використання його як кормової добавки не тільки регулює імунну функцію, кишкову флору та ліпідний обмін курей-несучок і бройлерів, але й запобігає забрудненню навколишнього середовища через його спалювання або утилізацію на звалищах [123, 124].

Дослідження Ngueri Tsopmejo та ін. [125] виявили, що гриб *F. velutipes* зменшує кишкове запалення та активує антиоксидантні фактори у мишей за допомогою сигнальних шляхів NF-κB та Nrf2/Keap1. Базуючись на активних компонентах, що містяться у *F. velutipes*, у своєму дослідженні Wu та ін. [126] вивчали вплив ніжок опенька зимового (FVS) на регуляцію антиоксидантної здатності осі печінка–кров–яєчники, що, своєю чергою, регулює апоптоз яєчників та метаболізм ліпідів у печінці, у 67-тижневих курей-несучок, а також перевірили позитивний вплив репродуктивних гормонів на розвиток фолікулів і синтез попередника жовтка. Загалом 360 курей-несучок віком шістьдесят сім тижнів були випадковим чином розподілені на 4 дослідні групи з наступним кормовим раціоном: 1 група – основний кукурудзяно-соевий раціон (CON); 2) основний раціон + 20 г/кг FVS (2% FVS); 3) основний раціон + 40 г/кг FVS (4 % FVS); 4) основний раціон + 60 г/кг FVS (6% FVS) (табл. 5).

Таким чином, це дослідження показало, що у групах курей-несучок яким згодувували FVS, суттєво підвищився рівень яєчної продуктивності і функціональної активності яєчників порівняно з контрольною групою. Додавання FVS підвищило рівень антиоксидантних ферментів (глутатіонпероксидази, супероксиддисмутази і загальну антиоксидантну активність) у печінці, сироватці крові та яєчниках і знизило рівень малонового діальдегіду через регулювання експресії білків, пов'язаних із Keap1-Nrf2/ARE сигнальним шляхом. Крім того, доповнення раціону FVS призвело до значного зниження апоптичних змін яєчників, шляхом регулювання рівня експресії мРНК і білків генів *Bax*, *Bcl-2* і каспази 3. FVS також значно підвищував рівні експресії естрадіолу, прогестерону, лютеїнізуючого та фолікулоstimулюючого гормонів та їхніх відповідних рецепторів. З підвищенням рівня естрадіолу, що транспортується через кровотік до печінки, цілеспрямоване зв'язування з естрогеновими рецепторами ER-α та ER-β призвело до значного підвищення рівня експресії мРНК білків apoVLDL II, apoB та VTG II, пов'язаних з синтезом попередника жовтка. Застосування FVS знижувало рівень тригліцеридів і загального холестерину та значно підвищувало рівень експресії білків і ферментів, які беруть участь у ліпідному метаболізмі (FAS, PPAR-α/γ та MTPP).

Таблиця 5. Вплив опенька зимового (*Flammulina velutipes*) на продуктивність курей-несучок

Група	Результат
Кури-несучки, яких годували кукурудзяно-соєвим раціоном	Контрольна група – на основі результатів отриманих у цій групі порівнювали результати в інших дослідних групах
Кури-несучки, яких годували основним кукурудзяно-соєвим раціоном з додаванням 20 г/кг <i>Flammulina velutipes</i> (2%)	Вірогідне підвищення рівня яєчної продуктивності і товщини яєчної шкаралупи, загальної антиоксидантної активності, а також активності сироваткової глутатіонпероксидази та супероксиддисмутази у сироватці крові та яєчниках, зниження рівня малонового діальдегіду в сироватці крові та яєчниках; найбільш суттєве підвищення рівня естрадіолу й значне зростання рівня прогестерону і лютеїнізуючого гормону в сироватці крові
Кури-несучки, яких годували основним кукурудзяно-соєвим раціоном з додаванням 40 г/кг <i>Flammulina velutipes</i> (4 %)	Вірогідне підвищення оваріального індексу й індексу передовуляторних фолікулів, зниження індексу абдомінального жиру*; збільшення товщини яєчної шкаралупи; підвищення активності глутатіонпероксидази та супероксиддисмутази в сироватці крові, зниження рівня малонового діальдегіду в печінці та сироватці крові; вірогідне підвищення рівня естрадіолу й фолікулостимулюючого гормону в сироватці крові
Кури-несучки, яких годували основною кукурудзяно-соєвою дієтою з додаванням 60 г/кг <i>Flammulina velutipes</i> (6 %)	Вірогідне підвищення оваріального індексу й індексу передовуляторних фолікулів, зниження індексу абдомінального жиру; збільшення товщини яєчної шкаралупи; вірогідне підвищення активності ферментів глутатіонпероксидази у печінці, яєчниках та сироватці, супероксиддисмутази – у печінці та сироватці, найбільш значуще зниження рівня малонового діальдегіду у печінці, яєчниках та сироватці; вірогідне підвищення рівня фолікулостимулюючого гормону

Примітка: оваріальний індекс = вага яєчника/маса тіла x100 %; індекс передовуляторних фолікулів = вага передовуляторних фолікулів/маса тіла x 100 %; індекс абдомінального жиру = вага абдомінальної жирової тканини/маса тіла x 100 %

Крім того, значне підвищення рівня експресії мРНК білків, пов'язаних із синтезом попередників жовтка, в кінцевому підсумку сповільнило зниження несучості у зістарених курей. Ці результати демонструють, що FVS, як функціональна кормова добавка, має потенційну захисну дію на печінку та яєчники, сприяючи транспортуванню та обміну різних речовин через вісь печінка-кров-яєчник і, певною мірою, підтримуючи репродуктивний гомеостаз у зістарених курей-несучок (рис. 4) [126].

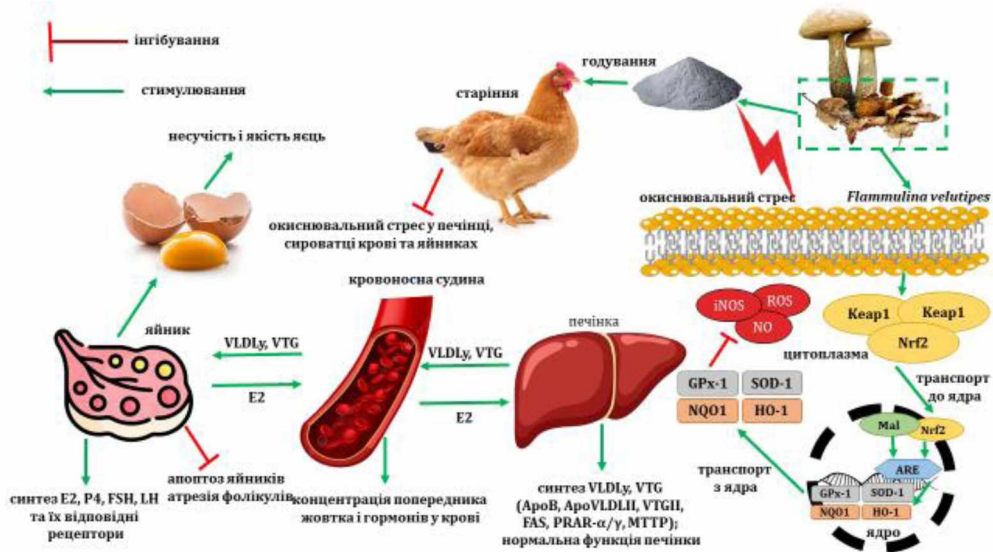


Рис. 4. Вплив опенька зимового (*Flammulina velutipes*) на репродуктивний стан курей-несучок (за Wu та ін., 2023)

Відпрацьований грибний субстрат при годівлі жуйних тварин.

Відпрацьований грибний субстрат при годівлі великої рогатої худоби.

Телята втрачають свій вроджений імунітет після закінчення молочного періоду і починають розвивати власну імунну відповідь. Саме в цей період тваринництво стикається з такими проблемами, як інфекції, спричинені патогенними мікроорганізмами. Діарея та пневмонія є основними причинами смерті телят на перших тижнях життя. Наукові дані свідчать про те, що смертність тварин через захворювання шлунково-кишкового тракту становить 1,1 %. У світлі заборони антибіотиків, що стимулюють ріст, необхідно шукати натуральні кормові добавки, які можуть покращити продуктивність і ріст тварин, а також допомогти підтримувати гомеостаз кишечника [127]. Виникнення захворювань у великої рогатої худоби часто призводить до зниження продуктивності або темпів росту і продуктивності. Необхідно шукати нові добавки, які матимуть оптимальний вплив на організм телят, знижуватимуть рівень захворюваності та покращуватимуть їх ріст [128].

Як органічні, так і неорганічні кислоти, а також їхні солі відіграють важливу роль у харчуванні тварин і можуть використовуватися як потенційні альтернативи антибіотикам у їх раціоні [129, 130]. Досить низька кислотність шлунково-кишкового тракту стабілізує бактеріальну флору і перешкоджає надмірному росту небажаних бактерій (наприклад, ентеропатогенної кишкової палички). Нижчий рН шлунково-кишкового тракту, особливо у молодих тварин, активує пепсиноген і стимулює вироблення бікарбонатів [130, 131]. Інкапсуляція органічних кислот у ліпідній матриці усуває деякі несприятливі властивості некапсульованих підкислювачів. Вони не впливають на рН корму і не пригнічують секрецію шлункового соку, як їх класичні форми. Великою перевагою інкапсульованих підкислювачів є те, що вони виділяються по всій довжині тонкої кишки [132].

Дослідження нових кормових добавок, які не містять антибіотиків, проводиться протягом тривалого часу [133, 134]. Такі препарати в першу чергу повинні покращувати травлення телят і підтримувати їх оптимальний ріст і продуктивність. Згодовування телятам кормових добавок, які містять суміш сполук, що володіють бактерицидною дією та покращують перетравлення

складних поживних речовин, відобразиться на майбутньому хорошому стані та довгостроковій продуктивності тварин [135]. З іншого боку, належний імунологічний статус також важливий у вирощуванні великої рогатої худоби.

Іншою проблемою, з якою стикається сільськогосподарська галузь при розведенні великої рогатої худоби, є дефіцит селену (Se) у ґрунті в деяких європейських країнах і, як наслідок, дефіцит Se у кормах, вирощених на цьому ґрунті. Дослідження показують, що, незважаючи на те, що Se додається до повноцінного корму, концентрація селену в сироватці крові тварин знизилася в останні роки [136, 137]. Це важливий мікроелемент у харчуванні, необхідний для нормального функціонування організмів людини та тварин. Цей мінерал може впливати на імунну систему та проявляти протизапальні властивості. Будь-які відхилення від нормального діапазону концентрації Se в сироватці можуть призвести до зниження імунітету і, як наслідок, до підвищення захворюваності [138]. Розглядаючи конкретно велику рогату худобу, дефіцит цього біоелементу сприятиме маститу, метриту, проблемам із фертильністю та зниженню надоїв молока у корів, а також м'язовій дистрофії у телят, що призводить до значних економічних втрат [139, 140].

Рівень біодоступності Se залишається проблемою для вчених. Доповнення цього мінералу органічною формою – селенітетригліцидами та селенометіоніном – є ефективнішим, ніж неорганічною формою [141–143]. Селен природним чином міститься також у тваринних і рослинних залишках. Беручи до уваги годівлю тварин, дріжджі та плодові тіла їстівних грибів є придатними для використання їх як кормової добавки, оскільки вони виявляють високу здатність накопичувати мікроелементи, такі як Se, і, за деяких умов, можуть мати протизапальні, антиоксидантні та пребіотичні властивості [128, 144–147]. Було показано, що β -глюкан є однією з основних функціональних сполук, присутніх у міцелії *Lentinula edodes* [148], і такий біоактивний метаболіт може, за деяких умов, діяти як імуномодулюючий і антиоксидантний засіб. Він також може впливати на продукцію протизапальних цитокінів [149–151].

Lentinula edodes (шіїтаке) – один із найпопулярніших їстівних і лікарських грибів (рис. 5). Полісахариди, знайдені в плодових тілах *L. edodes*, володіють імуномодулюючою дією, а також проявляють потужні протипухлинні, протівірусні та антибактеріальні властивості [152–156]. Крім того, *L. edodes* є ефективним джерелом вітамінів та біоелементів [157, 158].



Рис. 5. Гриб шіїтаке (*Lentinula edodes*)
(джерело: <https://pl.wikipedia.org/wiki>)

Безпека використання міцелію *L. edodes*, додатково збагаченого органічним Se, була доведена дослідженням Muszyńska та ін. [157]. Було виявлено, що ці істівні гриби, збагачені Se у формі селенітетригліцеридів, не мають цитотоксичного ефекту і можуть використовуватися в годівлі худоби для запобігання дефіциту Se. Інше дослідження вивчало вплив кормової добавки, що містить екзогенні ферменти, підкислювачі, бутират натрію та $n\text{SiO}_2$, на показники клітинного імунітету та приріст маси тіла телят. Виявлено, що досліджувана кормова добавка суттєво не модулювала імунну відповідь телят, однак спостерігався сприятливий ефект від застосування цієї добавки у телят з тенденцією до вищих середньодобових приростів порівняно з контрольними тваринами [159].

У дослідженні Bederska-Łojewska та ін. [160] оцінили вплив двох багатокомпонентних кормових добавок, які додавали до раціону телятам протягом 70 днів після народження із заміном молока. Досліджували показники продуктивності вирощених телят, рівень селену в сироватці крові та гістологію дванадцятипалої кишки та рубця. Перша добавка містила нанокремнезем (3000 мг), що містив панкреатичні ферменти [протеаза (18 мг), ліпаза (45 мг)], суміш органічних кислот (2000 мг – фумарова, яблучна, лимонна та сорбінова кислоти) інкапсульованих у тригліцеридній матрикс, і бутират натрію (10 000 мг) (нанокремнезем/E/OA/SB), тоді як друга добавка містила міцелій *L. edodes* (7 г), збагачений селеном (0,058 мг/г сухої води). Дослідження проводили на 18 помісних бугайцях (польська чорно-ряба × голштино-фризька породи) у період від народження до 70-денного віку, яких випадковим чином розподілили на контрольну та дві дослідні групи (по шість тварин у кожній). В кожній групі (після забою трьох тварин у віці 70 днів) проводили гістологічний аналіз шлунково-кишкового тракту (фрагментів рубця і дванадцятипалої кишки). Було визначено, що застосовані добавки не мали впливу на показники інтенсивності росту телят, а також досліджувані гематологічні та біохімічні показники. Проте вищі рівні селену були виявлені в сироватці крові телят, яких годували модифікованим міцелієм *L. edodes* на 35 і 70 день (44,33 і 51,33 мкг/л у контрольній групі та 132 і 93 мкг/л у групі *L. edodes*/Se відповідно). Крім того, було помічено нижче середньодобове споживання заміника молока на 35–42 день, яке значно збільшилося з 42 до 70-го дня у тварин, які отримували *L. edodes*/Se [160].

Експериментальні дослідження Szasa та ін. [128] були проведені у віварії Національного інституту ветеринарних досліджень у м. Пулави (Польща) на дванадцяти клінічно здорових голштино-фризьких телятах в середньому віком 16,3 тижня ($\pm 5,9$). Тварин випадковим чином поділили на групи E ($n = 6$) і C ($n = 6$) і помістили в шість загонів (по дві тварини на загін) із вільним доступом до води. Тварини E і C отримували стандартні раціони, включаючи заміник молока та стартовий корм для телят у висхідних кількостях (від 312,5 г до 375 г заміника молока та від 500 г до 2000 г стартового корму для телят), а також сіно *ad libitum*. У рамках експерименту телята групи E додатково отримували композицію кормових добавок, доданих до ранкової порції заміника молока один раз на день протягом 10 тижнів дослідження. Ця композиція містила міцелій *L. edodes* збагачений Se(IV) у формі селенітетригліцеридів у дозі 43 мг збагаченого селеном ліофілізату грибів/кг живої маси /добу (тобто 2,5 мкг Se(IV) /кг живої маси); ферменти: протеазу у дозі 18 мг/гол., ліпазу – 45 мг/гол.; органічні кислоти: фумарову у дозі 250 мг/гол., яблучну – 250 мг/гол., лимонну – 220 мг/гол., сорбінову – 15 мг/гол., а також бутират натрію та 2860 мг/гол. $n\text{SiO}_2$, з розміром частинок 5–10 нм і площею поглинання 380 м²/г [128].

Додавання телятам дослідної групи до основного раціону зазначених кормових добавок призвело до значного підвищення концентрації Se в сироватці крові телят, яка підтримувалася на постійному рівні протягом усього дослідження. Детальний аналіз показників функціонування імунної системи телят показав, що вона не була пригнічена протягом усього періоду застосування кормових добавок. Крім того, спостерігався певний позитивний ефект, що мав прояв у підвищенні на рівні тенденції деяких показників функціонування імунної системи: концентрації Ig та протизапальних цитокінів у сироватці крові, а також відсотка субпопуляції МНС II LYM. Ці результати, хоча і не є статистично значущими, однак разом із тенденцією до вищих значень середньодобових приростів у телят, яких годували досліджуваними добавками, підтвердили їх позитивний вплив на організм телят. Це є важливою передумовою для майбутніх досліджень із застосування у годівлі телят кормових добавок на базі міцелію їстівних і лікарських грибів і Se у більшому масштабі в умовах ферми, щоб підтвердити ці висновки [128].

Біологічні забруднювачі ґрунту тваринного походження, такі як водні розчини гною великої рогатої худоби, можуть бути контаміновані мікробними патогенами, що згодом може призвести до забруднення води та посівів. Для зменшення цих ризиків використовують численні стратегії зменшення цього забруднення. Патогени харчового походження, що викликають занепокоєння та можуть потрапити в їжу через забруднені ґрунти, це *Escherichia coli* та *Salmonella enterica* [161]. Стоки із сільськогосподарських полів також несуть ризики забруднення природних водойм у прилеглий території [162]. У зв'язку зі збільшенням попиту на органічне землеробство і нарощуванням обсягів використання біологічних добрив тваринного походження (BSAAO), існує потреба у визначенні альтернативних методів зменшення рівня бактеріального забруднення.

Включення нитчастого гриба в систему біофільтрації, де фільтраційне середовище складається з органічного пористого матеріалу (наприклад, піску або грибкових міцеліальних матів) і де мікроорганізми виконують принаймні одну з основних функцій очищення [163] (інактивація патогенних бактерії як метод профілактики перед збором врожаю) є варіантом, який варто оцінити. Системи на основі культивування мікроскопічних грибів у біореакторах використовувалися переважно у біотехнологічній промисловості для виробництва ферментів. Також ці біооб'єкти десятиріччями застосовувалися в екологічній інженерії з метою біоремедіації для розкладання стійких токсичних хімікатів і забруднювачів [164]. Попередні дослідження показали значне зниження титру *E. coli* у стічних водах та зливових стоках внаслідок використання нитчастих грибів *Pleurotus ostreatus* [165].

Серед мікроорганізмів, які використовуються для рекультивації забруднених ділянок, лігнінолітичні гриби білої гнилі мають здатність розкласти широкий спектр токсичних або стійких забруднень навколишнього середовища [166]. Гриби білої гнилі належать до родини базидіоміцетів, також відомих як «вищі гриби», і мають унікальну властивість розкласти лігнін. У той час як більшість грибів спроможні розщеплювати целюлозу та геміцелюлозу, лігнін є дуже стійкою до розщеплення сполукою зі складною хімічною структурою [167].

Pleurotus ostreatus – це вид грибів білої гнилі, що використовуються у біоремедіації завдяки продукції лігнінолітичних ферментів (рис. 2). Ці види грибів виділяють систему ферментів, що складається з лігнінпероксидази (LiP), марганцевозалежних пероксидаз (MnP), фенолоксидази або лаккази та глікольоксидаз [168, 169]. Продукція цих ферментів дозволяє грибам перейти

у стан лігніолітичної активності й відповідно набувати здатності до інгібування та розкласти широкого спектра організмів, таких як бактерії та нематоди [170]. Лігніолітична активність викликається умовами обмеження поживних речовин або «голодуванням» грибів. «Хижацька» поведінка грибів може бути активована, коли ключові поживні речовини, такі як азот і фосфор, є обмеженими [171]. Гриби білої гнилі можна вирощувати на спеціальних субстратах, таких як деревна стружка, відпрацьований грибний компост і сітчаста поліуретанова піна, щоб ініціювати умови обмеження поживних речовин і активувати їх «хижацьку» реакцію [172]. Щоб знерухомити свою здобич, гриби виділяють мікотоксини, потім їх гіфи проникають у здобич і поглинають поживні речовини [170]. Barron G. L. [173] описав, що коли гриби білої гнилі голодують або перебувають у стані обмеження поживних речовин, вони проявлятимуть «хижацьку» поведінку, розширюючи свої гіфи в пошуках нових джерел живлення. Коли гіфи стикаються з таким джерелом, наприклад у вигляді бактерій, вони виділяють токсин остреатин, щоб інактивувати та знерухомити свою жертву. Після цього гіфи зможуть виділяти різноманітні ферменти, щоб руйнувати стінку бактеріальної клітини та поглинати її поживні речовини [173].

Відпрацьований грибний субстрат при відгодівлі овець. Попередні дослідження показали, що грибний субстрат має велике значення для розробки та використання нетрадиційних кормів для жуйних тварин [174].

Рубець є унікальним органом травлення жуйних тварин з великою кількістю мікроорганізмів, які представлені переважно бактеріями, грибами, археями, найпростішими тощо, серед яких домінують мікроорганізмами є анаеробні бактерії [175]. Видовий склад бактерій рубця тісно корелює з продуктивністю жуйних і якістю їх м'яса [176]. Корм ферментується і розкладається під дією мікроорганізмів після потрапляння в рубець, що сприяє ефективному засвоєнню поживних речовин твариною. Henderson та ін. [177] і Maga та ін. [178] виявили, що корм є головним фактором, який впливає на зміну структури мікробного біому рубця у жуйних, що, своєю чергою, впливає на травлення та засвоєння поживних речовин і енергозабезпечення. Тому розуміння складу мікробіому рубця є ключовим для процесів травлення та засвоєння корму, а також покращення продуктивності тваринництва.

Основними компонентами SMS є сільськогосподарські побічні продукти з високим вмістом клітковини, такі як жом, пшеничні висівки, кукурудзяне борошно тощо, що визначає їх низьку харчову цінність, поганий смак, низьке споживання та перетравлення [57, 99]. Крім того, SMS спричиняють утворення плісняви, стають субстратом для розмноження патогенних бактерій через високий вміст вологи, пухку та пористу структуру [179]. Проте харчову цінність і смакові якості SMS можна покращити шляхом мікробної ферментації. Після цього процесу макромолекулярні речовини розкладаються до простіших вуглеводів, амінокислот, вітамінів та інших поживних речовин, які легко перетравлюються та засвоюються твариною, покращуючи смакові якості та подовжуючи час зберігання. Молочнокислі бактерії (LAB) і дріжджі є найчастіше використовуваними пробіотиками – вони можуть не тільки перетворювати ферментаційну матрицю в бактеріальний білок для підвищення поживної цінності, але й продукувати смакові речовини, включаючи кислоти, спирти, складні ефіри та інші ароматичні речовини для поліпшення смакових якостей корму [180, 181]. LAB також здатні продукувати органічні кислоти, бактеріоцини, перекис водню та інші метаболіти з бактеріостатичною активністю для пригнічення росту інших шкідливих

бактерій [182]. Дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* синергічно співпрацюють з молочнокислими бактеріями використовуючи такі субстрати, як молочна кислота та органічні кислоти [62]. Бактеріям *Bacillus subtilis* властива висока протеолітична та амілолітична активність [183].

Pleurotus eryngii, який зазвичай називають королівською гливою, є цінним їстівним грибом завдяки унікальному смаку та високій харчовій цінності (рис. 6) [184, 185]. Масштабне та інтенсивне виробництво цього гриба спричиняє утворення великої кількості відпрацьованого грибного субстрату, який ефективно не використовується [186].



Рис. 6. Королівська глива (*Pleurotus eryngii*)
(джерело: <https://pl.wikipedia.org/wiki>)

Додавання ферментованого відпрацьованого грибного субстрату *Pleurotus eryngii* (SMPE) до загального змішаного раціону (TMR) може значно покращити продуктивність, якість м'яса та різноманітність бактеріального біому рубця овець.

У своєму дослідженні Huang та ін. [187] вивчали вплив ферментованого SMPE на продуктивність, якість м'яса та структуру мікробіому рубця овець породи Ху. Було відібрано 120 2-місячних ягнят породи Ху із середньою живою масою $13,50 \pm 3,10$ кг, яких випадковим чином розділили на 4 групи: по 10 голів у кожній з 3-разовим повтором. Тварини контрольної групи (RL1) отримували загальний змішаний раціон (TMR), а при годівлі ягнят дослідних груп (RL2, RL3 і RL4) до базового раціону додавали відповідно 15 %, 30 % і 45 % ферментованого SMPE. Перші 10 днів відповідали періоду адаптації тварин до раціонів годівлі, а протягом наступних 150 днів були оцінені досліджувані показники. Результати цих досліджень показали, що (1) спостерігалася вірогідна різниця ($p < 0,05$) за показниками середньодобового споживання корму (ADFI) та коефіцієнтом конверсії корму (FCR) між групами RL2 і RL4. Такі забійні показники як площа м'язового вічка (EMA) та ступінь вгодованості (GR) у тварин груп RL2 і RL3 були значно вищими, порівняно з групами RL1 і RL4 ($p < 0,05$). (2) Вміст незамінних амінокислот в цілому, а також треоніну, валіну, лейцину, лізину, гістидину, ароматичних амінокислот, аспарагінової кислоти, серину, глютамінової кислоти та аргініну у білках найдовшого м'яза спини тварин груп RL2 і RL3 був значно вищими, порівняно з групами RL1 та RL4 ($p < 0,05$). (3) Загалом 1 202 445 дійсних послідовностей було отримано з рубців овець Ху, яких годували різною кількістю ферментованого корму, і ці послідовності були згруповані в 9824 оперативні

таксономічні одиниці (OTU). (4) Аналіз α -різноманітності показав, що насиченість і різноманітність бактеріальних популяцій рубця овець Ху в групах RL1, RL2, RL3 і RL4 були значно вищими, ніж безпосередньо у сировині ферментованого SMPE ($p < 0,05$). Аналіз β різноманітності показав, за структурою бактеріального мікробіому найбільш різнилися сировина ферментованого SMPE та дослідна група RL3. (5) На рівні роду, порівняно з RL1, відносна кількість *Christensenellaceae* R-7 вірогідно зменшилася (на 33,59 %) у групі RL3, відносна кількість *Prevotellaceae* UCG001 зменшилася відповідно на 50,41 %, 62,24 % та 49,17 % у групах RL2, RL3 і RL4, а відносна кількість *Ruminococcaceae* NK4A214 значно зросла (на 35,01 %) у групі RL2 ($p < 0,05$) (табл. 6).

Таблиця 6. Вплив ферментованого відпрацьованого грибного субстрату *Pleurotus eryngii* на продуктивність, якість м'яса та структуру мікробіому рубця овець

Група	Результат
Ферментований SMPE	домінуючими родами бактеріальної популяції були <i>Lactobacillus</i> , <i>Prevotella</i> 1 і <i>Bacteroides</i>
RL1 (загальний змішаний раціон) контрольна група	домінуючими родами мікробіома рубця були <i>Prevotella</i> 1, <i>Christensenellaceae</i> R-7, <i>Ruminococcaceae</i> NK4A214, <i>Fibrobacter</i> , <i>Rikenellaceae</i> RC9, <i>Saccharofermentans</i> і <i>Prevotellaceae</i> UCG001
RL2 (основний раціон + 15 % SMPE)	порівняно з контрольною групою – підвищення м'ясної продуктивності: вірогідне збільшення площі м'язового вічка та ступеня вгодваності; вірогідне збільшення вмісту у м'ясі треоніну, валіну, лейцину, лізину, гістидину, загальної кількості незамінних амінокислот, аспарагінової кислоти, серину, глутамінової кислоти, аргініну, ароматичних амінокислот, зменшення вмісту гліцину. Мікробіом рубця представлений переважно родами <i>Prevotella</i> 1, <i>Christensenellaceae</i> R-7, <i>Ruminococcaceae</i> NK4A214, <i>Fibrobacter</i> , <i>Rikenellaceae</i> RC9, <i>Saccharofermentans</i> і <i>Prevotellaceae</i> UCG001
RL3 (основний раціон + 30 % SMPE)	вірогідне збільшення площі м'язового вічка та ступеня вгодваності проти контрольної групи; вірогідне підвищення вмісту у м'ясі загальної кількості незамінних амінокислот, а також треоніну, валіну, ізолейцину, лейцину, лізину, гістидину, аспарагінової та глутамінової кислот, серину, аргініну, ароматичних амінокислот, вірогідне зниження вмісту проліну та гліцину. Домінуючі роди мікробіома рубця – <i>Prevotella</i> 1, <i>Christensenellaceae</i> R-7, <i>Ruminococcaceae</i> NK4A214, <i>Fibrobacter</i> , <i>Rikenellaceae</i> RC9, <i>Saccharofermentans</i> і <i>Prevotellaceae</i> UCG001

Продовження таблиці 6

RL4 (основний раціон + 45 % SMPE)	у порівнянні з контролем вірогідне зменшення середньодобового споживання корму і підвищення коефіцієнта конверсії корму; за амінокислотним складом м'яса вірогідні відмінності у порівнянні з контролем відсутні. Панівні роди мікробіома рубця – <i>Prevotella</i> 1, <i>Christensenellaceae</i> R-7, <i>Ruminococcaceae</i> NK4A214, <i>Fibrobacter</i> , <i>Rikenellaceae</i> RC9, <i>Saccharofermentans</i> і <i>Prevotellaceae</i> UCG001
-----------------------------------	---

У цілому продуктивність овець була вищою при згодовуванні загального змішаного раціону з 15 % ферментованого SMPE порівняно з іншими групами. У групах RL2 і RL3 спостерігалось збільшення вмісту у м'ясі незамінних та ароматичних амінокислот. Щодо бактерій рубця, відносна чисельність *Firmicutes* і *Fibrobacteres* збільшилася в групі RL4, а *Ruminococcaceae* NK4A214 – в групі RL2, порівняно з групою RL1. Однак в усіх дослідних групах спостерігалось зменшення чисельності *Prevotellaceae* UCG001 порівняно з контролем. Кореляційний аналіз показав, що додавання ферментованого SMPE до загального змішаного раціону може покращити продуктивність і якість м'яса тварин шляхом змін у мікробіомі рубця овець породи Ху [187].

Відпрацьований грибний субстрат при годівлі непарнокопитних тварин.

Відпрацьований грибний субстрат у годівлі коней. *Lentinula edodes*, широко відомий як гриб шиїтаке (рис. 5), посідає друге місце на світовому ринку грибів з огляду на його поживну цінність і терапевтичне застосування в профілактиці і лікуванні багатьох захворювань [188]. Попередні дослідження довели харчову цінність грибів шиїтаке, яка пояснюється високим вмістом у них біологічно активних компонентів, зокрема білків, вуглеводів і біоактивних полісахаридних комплексів, таких як β-D-глюкан, гетероглюкан, ксиломанан, лентинан, еритаденін гетероглюкан і лентинан. Також присутні вільні цукри, такі як арабіноза, арабіт, маноза, маніт, трегалоза та гліцерин [189, 190]. Шиїтаке також багаті вітамінами B2, B12, D2 [190], а також мікро- та макроелементами (K, P, Mg, Ca, Zn, Cu, Mn, Se та Fe) [191–193]. Вони мають низький вміст холестерину та загального жиру, але містять високу частку ненасичених жирних кислот [194].

На відміну від людей, вплив грибів шиїтаке на здоров'я тварин є недостатньо вивченим і здебільшого обмежується лабораторними тваринами, такими як щурі [195] і миші [196] або свійська птиця [144, 197–200]. У щурів добавка шиїтаке до кормового раціону призвела до збагачення видового різноманіття мікробіома кишечника, що характеризувалося підвищеною чисельністю *Clostridium* та *Bacteroides spp.* При цьому у крові тварин концентрація загального холестерину та ЛПНЩ дещо знизилася, тоді як концентрація ЛПВЩ підвищилися при доповненні гіперхолестеринової дієти 5 % *L. edodes* порівняно з контрольною групою щурів на гіперхолестеринівій дієті. На думку авторів маніпуляції з мікробіотою кишечника шляхом введення *L. edodes* можуть керувати процесом дисліпідемії [195]. Дослідження на мишах показали значне зниження загального холестерину у сироватці крові, холестерину ЛПНЩ і тригліцеридів після прийняття грибних добавок, що відображає суттєві зміни в регуляції ліпідного обміну [196]. Подібні ефекти впливу шиїтаке були підтверджені також у нещодавніх дослідженнях на

собаках [201]. Декілька досліджень підтвердили вплив гриба на модуляцію імунної відповіді та зниження стресу у домашньої птиці [200], а також на прояв антибактеріальної, противірусної та антисептичної дії у курчат [197–199], й підвищення продуктивність бройлерів інфікованих *Mycoplasma gallisepticum* [144].

Soroko та ін. [202] оцінили вплив добавки гриба шийтаке на морфологічні та біохімічні характеристики крові у коней. Своє дослідження автори проводили на групі з 17 чистокровних дорослих верхових коней (13 меринів і 4 кобили), віком 4 – 10 років, з середньою масою тіла 492 ± 58 кг. Коні були клінічно здорові, хорошої вгодованості. Було зібрано анамнез, щоб визначити, чи були у коней проблеми зі здоров'ям протягом попередніх трьох місяців. Для підтвердження будь-яких проблем зі здоров'ям досвідчений ветеринар провів стандартне клінічне обстеження: вимірювання ректальної температури, оцінку стану слизової оболонки порожнини рота, нижньощелепних лімфатичних вузлів, аускультацию серця, дихальних шляхів, пальпацію і аускультацию кишечника. Коні проходили клінічний огляд кожні 4 тижні протягом періоду дослідження. Тварини знаходилися в одній і тій же стайні, в індивідуальних боксах, застелених соломою, у клубі верхової їзди у Вроцлаві (Польща). Коней, які пройшли дослідження, утримували в боксах розміром 3×3 м протягом ночі та на пасовищі у першій половині доби (з 6:30 до 13:00). Після повернення з пасовища коні мали доступ до сіна та води *ad libitum*. Тваринам згодовували концентровані корми тричі на добу о 6:00, 13:00 та 18:30 [202].

Протягом усього дослідження тварини споживали постійний основний раціон, який базувався на потребах коней у поживних речовинах. Раціон складався з 3 кг сіна лугового (тричі на добу), суміші концентрату бурякового жому (AgroVital BASIC, Agro-Vital, Niewodnica Koscielna, Польща; склад: немеласований буряковий жом, гранульована суха люцерна, сушене яблуко, макуха насіння примули вечірньої та льону, гречане лушпиння, соєва олія, хлорид натрію, фосфат кальцію, оксид магнію) та комбікорму на основі сировини, багатой складними вуглеводами (AgroVital CONTROL, Agro-Vital, Niewodnica Koscielna, Польща; склад: сушена люцерна, рисові висівки, ячмінь, соняшникова макуха, лляна макуха, яблучне лушпиння сушене, гречане лушпиння, макуха насіння чорного кмину і примули вечірньої, буряковий жом, соняшникова олія, оксид магнію, фосфат кальцію, хлорид натрію, кальцій морських водоростей). Загальний об'єм концентрів з 500 г концентрату бурякового жому та 500 г комбікорму розподіляли на три годування. Коней використовували для прогулянок верхи 5 разів на тиждень по 1 – 2 години на день. Протягом періоду дослідження всі коні продовжували брати участь у заняттях з верхової їзди [202].

Тварини випадковим чином були розділені на 2 групи: дослідна група (7 меринів і 2 кобили віком 4 – 10 років) та контрольна (6 меринів і 2 кобили віком 4 – 10 років). Коням дослідної групи під час післяобіднього годування протягом 112 днів додатково згодовували 200 г грануляту, що містив 60 г сухого борошна гриба шийтаке, 100 г ячменю, 20 г пшеничних висівок, 8 г кукурудзи, 8 г люцерни та 4 г меляси. Кількість добавки шийтаке базувалася на рекомендаціях виробника. Контрольній групі протягом усього періоду дослідження згодовували таку ж кількість грануляту без грибів шийтаке [202] (табл. 7).

Таблиця 7. Вплив грибів шиїтаке (*Lentinula edodes*) на морфологічні та біохімічні показники крові коней

Група	Показник	Результат
дослідна	гемоглобін	збільшення
	гематокрит	збільшення
	лейкоцити	зниження
	холестерин	зниження
	білірубін	зниження
	артеріальний тиск	зниження
	глюкоза	зниження
	тригліцериди	зниження
	концентрація Na і Ca	зниження

Пізніше науковці повторили дослідження, врахувавши певні неточності, які допустили у попередньому дослідженні. Повторне дослідження проводили на групі з 20 чистокровних скакових коней у віці 3 – 4 роки із середньою масою тіла 454 ± 22 кг. Коні були клінічно здорові та в доброму стані. Усі вони мали подібний рівень фізичної підготовки та щодня тренувалися до рівнинних перегонів на іподромі Partynice (Польща). Тривалість щоденних тренувань була однаковою для всіх коней. Тварин утримували в індивідуальних боксах на солом'яній підстилці, без доступу до пасовища. Усі загоны мали розміри приблизно $12,25 \text{ м}^2$ і очищалися шість разів на тиждень. За місяць до експерименту тваринам проводили дегельмінтизацію та вакцинацію згідно зі стандартною ветеринарною практикою. Усі вони отримували основний раціон з вівса та концентратів (мюслі) (Oat Balancer Mix, Baileys Horse Feed, Braintree, Essex, UK) наступного складу: мікронізований ячмінь, соєві пластівці, кукурудза та соя, патока, мікронізована пшениця, дистильована вода, соєва олія, лущиння соєвих бобів, оброблене насіння льону, вітаміни та мінерали ScFOS (пребіотик Digest Plus), а також грубі корми (лугове сіно), відповідно до норм годівлі скакових коней. Воду та мінеральну сіль (Lisal, Klodawa, Польща) давали за потреби. Коней годували тричі на день, о 5:30, 12:00 та 17:00. Дієти дотримувались протягом 6 місяців до взяття перших проб і продовжували протягом усього періоду дослідження [203].

Коней, які брали участь у дослідженні, випадковим чином розділили на дві групи: перша — дослідна група, що складалася з десяти коней (п'ять віком 3 роки й п'ять віком 4 роки) і друга — контрольна, в якій також було десять коней (п'ять 3-річних та п'ять 4-річних). Тварини дослідної групи отримували додатково 100 г грануляту, що містив 30 г грибів шиїтаке, один раз на день (під час годування о 12:00) протягом усього періоду дослідження (з березня по червень). У контрольній групі згодовували гранулят без додавання *L. edodes* [203].

Нині недостатньо досліджень щодо застосування у годівлі коней кормових добавок з шиїтаке, і результати, отримані раніше для інших видів тварин, не можуть бути порівняні. Проте, результати представленого дослідження підтверджують результати попередніх досліджень із застосування субстрату грибів, проведених на різних видах тварин [48, 204, 205].

Таблиця 8. Вплив грибів шиїтаке (*Lentinula edodes*) на морфологічні та біохімічні показники крові коней

Група	Показник	Результат
дослідна	лактатдегідрогеназа	збільшення
	альбумін	зниження
	холестерин	зниження
	гамма-глутамілтрансфераза	збільшення
	білірубін	зниження
	креатинкіназа	зниження
	аспартатамінотрансфераза	зниження
	глюкоза	зниження
артеріальний тиск	зниження	

Таким чином, дослідження альтернативних шляхів використання грибного субстрату як добавок до корму для тварин мають значне практичне значення для сільського господарства. Цей напрямок може призвести до численних позитивних результатів як для фермерів, так і для навколишнього середовища. Використання грибного субстрату може суттєво знизити витрати на закупівлю традиційних кормів. Це особливо важливо в умовах чимраз вищих цін на зернові та інші кормові культури. Завдяки високому вмісту поживних речовин, грибний субстрат може сприяти кращому росту та здоров'ю тварин, що своєю чергою, підвищує продуктивність фермерських господарств. Біоактивні речовини, що містяться у грибному субстраті, можуть позитивно впливати на імунну систему тварин, знижуючи захворюваність та покращуючи загальний фізіологічний стан. Здорові тварини виробляють кращу за якістю продукцію (м'ясо, молоко, яйця), що може підвищити рентабельність виробництва та задовольнити вимоги споживачів. Використання відпрацьованого грибного субстрату, який часто вважається відходом, допомагає зменшити обсяги відходів у сільському господарстві та знизити негативний вплив на навколишнє середовище. Інтеграція грибного субстрату в кормові раціони сприяє ефективному використанню природних ресурсів і відповідає принципам сталого розвитку, що є важливим у контексті глобальних екологічних викликів.

Дослідження у цій сфері стимулюють розробку нових технологій перероблення відпрацьованого грибного субстрату, що може відкрити нові можливості для аграрного сектору. Використання інноваційних підходів у кормовиробництві може підвищити конкурентоспроможність фермерських господарств як на внутрішньому, так і на міжнародному ринках. Отже, дослідження альтернативних шляхів використання грибного субстрату як добавок до корму мають широкий спектр практичних значень, сприяючи економічній ефективності, екологічній стійкості та інноваційному розвитку сільського господарства.

Висновки. Використання грибного субстрату як добавки до корму для тварин – це перспективний напрямок у сільському господарстві, що поєднує в собі як економічні, так і екологічні переваги. Результати численних досліджень свідчать про позитивний вплив грибного субстрату на здоров'я та продуктивність тварин, зокрема, поліпшення показників росту, підвищення імунітету та загального фізіологічного стану. Грибний субстрат, багатий на білки, вітаміни, мінерали та інші біоактивні речовини, може стати важливим джерелом поживних елементів у

раціонах тварин. Його використання сприяє зниженню витрат на традиційні корми, що є значною перевагою для фермерських господарств, особливо за умов дедалі вищої вартості кормів. Окрім економічної вигоди, використання грибного субстрату дозволяє зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, сприяючи ефективному використанню біологічних відходів. Це відповідає принципам сталого розвитку та кругової економіки, що є надзвичайно важливим у сучасному аграрному секторі.

Необхідно продовжувати дослідження у цьому напрямку для більш детального вивчення впливу різних видів грибного субстрату на різні види тварин, а також для оптимізації методів його підготовки та включення до кормових раціонів. Практичне впровадження результатів цих досліджень може значно підвищити ефективність тваринницьких господарств та забезпечити стале використання ресурсів. Таким чином, грибний субстрат має значний потенціал як добавка до корму, що може суттєво покращити продуктивність тварин у сільському господарстві, забезпечуючи при цьому економічні та екологічні вигоди. Систематичний підхід до його використання може стати ключовим елементом у розвитку інноваційних і сталих методів ведення сільського господарства.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Mirabella N., Castellani V., Sala S. Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *J. of Cleaner Production*. 2014. Vol. 65. P. 28–41. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.10.051
2. Yadav D., Negi P. S. Bioactive components of mushrooms: Processing effects and health benefits. *Food Research Intern. (Ottawa, Ont.)*. 2021. Vol. 148. 110599. doi: 10.1016/j.foodres.2021.110599
3. Venturella G., Ferraro V., Cirlincione F., Gargano M. L. Medicinal Mushrooms: Bioactive Compounds, Use, and Clinical Trials. *Intern. J. of Molecular Sci.* 2021. Vol. 22(2). 634. doi: 10.3390/ijms22020634
4. de Frutos P. Changes in world patterns of wild edible mushrooms use measured through international trade flows. *Forest Policy and Economics*. 2020. Vol. 112. 102093. doi: 10.1016/j.forpol.2020.102093
5. Kaushal L. A., Prashar A. Agricultural crop residue burning and its environmental impacts and potential causes – case of northwest India. *J. of Environmental Planning and Management*. 2021. Vol. 64(3). P. 464–484. doi: 10.1080/09640568.2020.1767044
6. Martín C. Pretreatment of crop residues for bioconversion. *Agronomy*. 2021. Vol. 11(5). 924. doi: 10.3390/agronomy11050924
7. Brunetti G., Soler-Rovira P., Matarrese F., Senesi N. Composition and structural characteristics of humified fractions during the co-composting process of spent mushroom substrate and wheat straw. *J. of Agricultural and Food Chemistry*. 2009. Vol. 57(22). P. 10859–10865. doi: 10.1021/jf903014f
8. Huang J., Liu J., Chen J., Xie W., Kuo J., Lu X., Chang K., Wen S., Sun G., Cai H., Buyukada M., Evrendilek F. Combustion behaviors of spent mushroom substrate using TG-MS and TG-FTIR: Thermal conversion, kinetic, thermodynamic and emission analyses. *Bioresource Technology*. 2018. Vol. 266. P. 389–397. doi: 10.1016/j.biortech.2018.06.106
9. Hu T., Wang X., Zhen L., Gu J., Zhang K., Wang Q., Ma J., Peng H., Lei L., Zhao W. Effects of inoculating with lignocellulose-degrading consortium on cellulose-degrading genes and fungal community during co-composting of spent

- mushroom substrate with swine manure. *Bioresource Technology*. 2019. Vol. 291. 121876. doi: 10.1016/j.biortech.2019.121876
10. Singh U. B., Malviya D., Khan W., Singh S., Karthikeyan N., Imran M., Rai J. P., Sarma B. K., Manna M. C., Chaurasia R., Sharma A. K., Paul D., Oh J. W. Earthworm Grazed-Trichoderma harzianum Biofortified Spent Mushroom Substrates Modulate Accumulation of Natural Antioxidants and Bio-Fortification of Mineral Nutrients in Tomato. *Frontiers in Plant Sci*. 2018. Vol. 9. 1017. doi: 10.3389/fpls.2018.01017
 11. Wei Y., Jin Z., Zhang M., Li, Y., Huang S., Liu X., Jin Y., Wang H., Qu J. Impact of spent mushroom substrate on Cd immobilization and soil property. *Environmental Scie. and Pollution Research International*. 2020. Vol. 27(3). P. 3007–3022. doi: 10.1007/s11356-019-07138-y
 12. Lou Z., Sun Y., Bian S., Ali Baig S., Hu B., Xu X. Nutrient conservation during spent mushroom compost application using spent mushroom substrate derived biochar. *Chemosphere*. 2017. Vol. 169. P. 23–31. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.11.044
 13. Sewu D. D., Jung H., Kim S. S., Lee D. S., Woo S. H. Decolorization of cationic and anionic dye-laden wastewater by steam-activated biochar produced at an industrial-scale from spent mushroom substrate. *Bioresource technology*. 2019. Vol. 277. P. 77–86. doi: 10.1016/j.biortech.2019.01.034
 14. Phan C. W., Sabaratnam V. Potential uses of spent mushroom substrate and its associated lignocellulosic enzymes. *Applied microbiology and biotechnology*. 2012. Vol. 96(4). P. 863–873. doi: 10.1007/s00253-012-4446-9
 15. Zhu H., Sheng K., Yan E., Qiao J., Lv F. Extraction, purification and antibacterial activities of a polysaccharide from spent mushroom substrate. *International J. of Biological Macromolecules*. 2012. Vol. 50(3). P. 840–843. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2011.11.016
 16. Medina E., Paredes C., Pérez-Murcia M. D., Bustamante M. A., Moral R. Spent mushroom substrates as component of growing media for germination and growth of horticultural plants. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100(18). P. 4227–4232. doi: 10.1016/j.biortech.2009.03.055
 17. Liu Y., Zhao C., Lin D., Lin H., Lin Z. Effect of water extract from spent mushroom substrate after Ganoderma balabacense cultivation by using JUNCAO technique on production performance and hematology parameters of dairy cows. *Animal Scie. J. = Nihon Chikusan Gakkaiho*. 2015. Vol. 86(9). P. 855–862. doi: 10.1111/asj.12371
 18. Seok, J. S., Kim, Y. I., Lee, Y. H., Choi, D. Y., & Kwak, W. S. Effect of feeding a by-product feed-based silage on nutrients intake, apparent digestibility, and nitrogen balance in sheep. *J. of Animal Sci. and Technology*. 2016. Vol. 58. 9. doi: 10.1186/s40781-016-0091-7
 19. Aida F. M. N. A., Shuhaimi M., Yazid M., Maaruf A. G. Mushroom as a Potential Source of Prebiotics : A Review. *Trends in Food Sci. and Technology*. 2009. Vol. 20. P. 567–575. doi: 10.1016/j.tifs.2009.07.007
 20. Friedman M. Mushroom Polysaccharides: Chemistry and Antiobesity, Antidiabetes, Anticancer, and Antibiotic Properties in Cells, Rodents, and Humans. *Foods (Basel, Switzerland)*. 2016. Vol. 5(4). 80. doi: 10.3390/foods5040080
 21. Chuang W. Y., Hsieh Y. C., Lee T. T. The Effects of Fungal Feed Additives in Animals: A Review. *Animals: an open access journal from MDPI*. 2020. Vol. 10(5). 805. doi: 10.3390/ani10050805

22. Atallah, E., Zeaiter, J., Ahmad, M.N., Leahy, J.J., Kwapinski, W. Hydrothermal Carbonization of Spent Mushroom Compost Waste Compared against Torrefaction and Pyrolysis. *Fuel Processing Technology*. 2021. Vol. 216. 106795. doi: 10.1016/J.FUPROC.2021.106795
23. Leong Y. K., Ma T. W., Chang J. S., Yang F. C. Recent advances and future directions on the valorization of spent mushroom substrate (SMS) : A review. *Bioresource Technology*. 2022. Vol. 344(Pt. A). 126157. doi: 10.1016/j.biortech.2021.126157
24. Martín C., Zervakis G. I., Xiong S., Koutrotsios G., Strætkvern K. O. Spent substrate from mushroom cultivation: exploitation potential toward various applications and value-added products. *Bioengineered*. 2023. Vol. 14(1). 2252138. doi: 10.1080/21655979.2023.2252138
25. Zisopoulos F. K., Becerra Ramírez H. A., van der Goot A. J., Boom R. M. A resource efficiency assessment of the industrial mushroom production chain : The influence of data variability. *J. of Cleaner Production*. 2016. Vol. 126. P. 394–408. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.066
26. Beckers S. J., Dallo I. A., Del Campo I., Rosenauer C., Klein K., Wurm F. R. From Compost to Colloids – Valorization of Spent Mushroom Substrate. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2019. Vol. 7. P. 6991–6998. doi: 10.1021/acssuschemeng.8b06710
27. Elsakhawy T., Tawfik W. Evaluation of Spent Mushroom Substrate Extract as Biofertilizer for Growth Improvement of Rice (*Oriza Sativa*). *Egyptian J. of Soil Sci.* 2019. Vol. 60. P. 31–42. doi: 10.21608/EJSS.2019.18835.1320
28. Beyer D. M. Impact of the mushroom industry on the environment. Penn State Extension. Pennsylvania State University. 2011. URL: <https://extension.psu.edu/impact-of-the-mushroom-industry-on-the-environment> (date of access: 20.05.24).
29. Council directive 1999/31/EC on the landfill of waste [Internet]. 1999. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31999L0031> (date of access: 31.05.24).
30. Chen L., Qian L., Zhang X., Li J. Z., Zhang Z. J., Chen X. M. Research progress on indoor environment of mushroom factory. *International J. of Agricultural and Biological Engineering*. 2022. Vol. 15(1). P. 25–32. doi: 10.25165/j.ijabe.20221501.6872
31. Picornell-Buendía R., Pardo-Giménez A., de Juan-Valero J.A. Agronomic assessment of spent substrates for mushroom cultivation. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement. Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*. 2016. Vol. 20(3). P. 263–374. doi: 10.25518/1780-4507.13138
32. Economou C. N., Philippoussis A. N., Diamantopoulou P. A. Spent mushroom substrate for a second cultivation cycle of *Pleurotus* mushrooms and dephenolization of agro-industrial wastewaters. *FEMS Microbiology Letters*. 2020. Vol. 367(8). fnaa060. doi: 10.1093/femsle/fnaa060
33. Wu C.Y., Liang C. H., Liang Z. C. Evaluation of using spent mushroom sawdust wastes for cultivation of *Auricularia Polytricha*. *Agronomy*. 2020. Vol. 10(12). 1892. doi: 10.3390/agronomy10121892
34. Qi Q., Peng Q., Tang M., Chen D., Zhang H. Microbiome Analysis Investigating the Impacts of Fermented Spent Mushroom Substrates on the Composition of Microbiota in Weaned Piglets Hindgut. *Frontiers in Veterinary Sci.* 2020. Vol. 7. 584243. doi: 10.3389/fvets.2020.584243

35. Fazaeli H., Shafyee-Varzeneh H., Farahpoor A., Moayyer A. Recycling of mushroom compost wheat straw in the diet of feedlot calves with two physical forms. *Inter. J. of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2014. Vol. 3(3). 3. doi: 10.1007/s40093-014-0065-z
36. Aldoori Z. T., Al-Obaidi A. S. A., Abdulkareem A. H., Abdullah M. K. Effect of dietary replacement of barley with mushroom cultivation on carcass characteristics of Awassi lambs. *J. of Animal Health and Production*, 2015. Vol. 3(4). P. 94–98. doi: 10.14737/journal.jahp/2015/3.4.94.98
37. Herrero-Hernández E., Andrades M. S., Villalba Eguren G., Sánchez-Martín M. J., Rodríguez-Cruz S. M., Marín-Benito J. M. Organic amendment for the recovery of vineyard soils: effects of a single application on soil properties over two years. *Processes*. 2022. Vol. 10(2). 317. doi: 10.3390/pr10020317
38. Meng X., Liu B., Zhang H., Wu J., Yuan X., Cui Z. Co-composting of the biogas residues and spent mushroom substrate: Physicochemical properties and maturity assessment. *Bioresource Technology*. 2019. Vol. 276. P. 281–287. doi: 10.1016/j.biortech.2018.12.097
39. Wang H. W., Xu M., Cai X. Y., Tian F. (Evaluation of soil microbial communities and enzyme activities in cucumber continuous cropping soil treated with spent mushroom (*Flammulina velutipes*) substrate. *J. of Soils and Sediments*. 2021. Vol. 21(8). P. 2938–2951. doi: 10.1007/s11368-021-02989-w
40. Li H., Yoshida S., Mitani N., Egusa M., Takagi M., Izawa H., Matsumoto T., Kaminaka H., Ifuku S. Disease resistance and growth promotion activities of chitin/cellulose nanofiber from spent mushroom substrate to plant. *Carbohydrate Polymers*. 2022. Vol. 284. 119233. doi: 10.1016/j.carbpol.2022.119233
41. Singh G., Tiwari A., Gupta A., Kumar A., Hariprasad P., Sharma S. Bioformulation development via valorizing silica-rich spent mushroom substrate with *Trichoderma asperellum* for plant nutrient and disease management. *J. of Environmental Management*. 2021. Vol. 297. 113278. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113278
42. Ntougias S., Papadopoulou K. K., Zervakis G. I., Kavroulakis N., Ehaliotis C. Suppression of soil-borne pathogens of tomato by composts derived from agro-industrial wastes abundant in Mediterranean regions. *Biology and Fertility of Soils*. 2008. Vol. 44. P. 1081–1090.
43. Lin H., Sun M., Li J., Xu Q., Yang B., Wang Q., Xie W., Sun S., Hu K., Zhang L. Purification and characterization of xylanase from spent mushroom compost and its application in saccharification of biomass wastes. *BioResources*. 2018. Vol. 13(1). P. 220–230. doi: 10.15376/biores.13.1.220-230
44. Ball A. S., Jackson A. M. The recovery of lignocellulose-degrading enzymes from spent mushroom compost. *Bioresource Technology*. 1995. Vol. 54(3). P. 311–314. doi: 10.1016/0960-8524(95)00153-0
45. Ko H. G., Park S. H., Kim S. H., Park H. G., Park W. M. Detection and recovery of hydrolytic enzymes from spent compost of four mushroom species. *Folia Microbiologica*. 2005. Vol. 50(2). P. 103–106. doi: 10.1007/BF02931456
46. Zhang J., Meng G., Zhai G., Yang Y., Zhao H., Jia L. Extraction, characterization and antioxidant activity of polysaccharides of spent mushroom compost of *Ganoderma lucidum*. *Intern. J. of Biological Macromolecules*. 2016. Vol. 82. P. 432–439. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2015.10.016
47. Aguiar T., Luiz C., Neto A., Di Piero R. M. Residual polysaccharides from fungi reduce the bacterial spot in tomato plants. *Bragantia*. 2018. Vol. 77(2). P. 299–313. doi: 10.1590/1678-4499.2016514

48. Park J. H., Kim S. W., Do Y. J., Kim H., Ko Y. G., Yang B. S., Shin D., Cho Y. M. Spent mushroom substrate influences elk (*Cervus elaphus canadensis*) hematological and serum biochemical parameters. *Asian-Australasian J. of Animal Sci.* 2012. Vol. 25(3). P. 320–324. doi: 10.5713/ajas.2011.11329
49. Vaz J. A., Barros L., Martins A., Santos-Buelga C., Vasconcelos H., Ferreira I. C. F. R. Chemical composition of wild edible mushrooms and antioxidant properties of their water soluble polysaccharidic and ethanolic fractions. *Food Chemistry.* 2011. Vol. 126(2). P. 610–616. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.11.063
50. Škapa S., Vochozka M. Waste energy recovery improves price competitiveness of artificial forage from rapeseed straw. *Clean Technologies and Environmental Policy.* 2019. Vol. 5. P. 1165–1171. doi: 10.1007/s10098-019-01697-x
51. Correddu F., Lunesu M. F., Buffa G., Atzori A. S., Nudda A., Battacone G., Pulina G. Can Agro-Industrial By-Products Rich in Polyphenols be Advantageously Used in the Feeding and Nutrition of Dairy Small Ruminants?. *Animals: an Open Access J. from MDPI.* 2020. Vol. 10(1). P. 131. doi: 10.3390/ani10010131
52. Wilkinson J. M., Lee M. R. F. Review: Use of human-edible animal feeds by ruminant livestock. *Animal: an Intern. J. of Animal Bioscience,* 2018. Vol. 12(8). P. 1735–1743. doi: 10.1017/S175173111700218X
53. Bath D. L. Feed by-products and their utilization by ruminants. *Upgrading Residues and By-Products for Animals;* CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2018. P. 1–16.
54. Rahman M. M., Mat K., Ishigaki G., Akashi R. A review of okara (soybean curd residue) utilization as animal feed: Nutritive value and animal performance aspects. *Animal Sci. J. = Nihon Chikusan Gakkaiho.* 2021. Vol. 92(1). e13594. doi: 10.1111/asj.13594
55. Kalvandi S., Zaboli K., Malecky M. Effect of spent mushroom compost (*Agaricus bisporus*) silage processing on its chemical composition, digestibility and ruminal fermentation kinetic in Mehraban sheep. *Animal Production Research.* 2018. Vol. 7(2). P. 69–82. doi: 10.22124/AR.2018.9256.1270
56. Motta F., Gershwin M. E., Selmi C. Mushrooms and immunity. *J. of Autoimmunity.* 2021. Vol. 117. 102576. doi: 10.1016/j.jaut.2020.102576
57. Mohd Hanafi F. H., Rezanía S., Mat Taib S., Md Din M.F., Yamauchi M., Sakamoto M., Hara H., Park J., Ebrahimi S.S. Environmentally sustainable applications of agro-based spent mushroom substrate (SMS): an overview. *J. of Material Cycles and Waste Management.* 2018. Vol. 20. P. 1383–1396. doi: 10.1007/s10163-018-0739-0
58. Iannaccone F., Alborino V., Dini I., Balestrieri A., Marra R., Davino R., Di Francia A., Masucci F., Serrapica F., Vinale F. In Vitro Application of Exogenous Fibrolytic Enzymes from *Trichoderma* Spp. to Improve Feed Utilization by Ruminants. *Agriculture.* 2022. Vol. 12(5). 573. doi: 10.3390/agriculture12050573
59. Niego A. G., Rapior S., Thongklang N., Raspé O., Jaidee W., Lumyong S., Hyde K. D. Macrofungi as a Nutraceutical Source: Promising Bioactive Compounds and Market Value. *J. of fungi (Basel, Switzerland).* 2021. Vol. 7(5). 397. doi: 10.3390/jof7050397
60. Mhlongo G., Mnisi C. M., Mlambo V. Cultivating oyster mushrooms on red grape pomace waste enhances potential nutritional value of the spent substrate for ruminants. *PloS One.* 2021. Vol. 16(2). e0246992. doi: 10.1371/journal.pone.0246992
61. Ahmed Z., Faisal S., Jamal A. O. Upgrading of Raw Wheat Straw Applying Fungal Treatment. *Open J. of Animal Sci.* 2021. Vol. 11. P. 376–383. doi: 10.4236/ojas.2021.113027

62. Kwak W. S., Kim Y. I., Seok J. S., Oh Y. K., Lee S. M. Molasses and microbial inoculants improve fermentability and silage quality of cotton waste-based spent mushroom substrate. *Bioresource Technology*. 2009 Vol. 100(3). P. 1471–1473. doi: 10.1016/j.biortech.2008.07.066
63. Kwak W. S., Jung S. H., Kim Y. I. Broiler litter supplementation improves storage and feed-nutritional value of sawdust-based spent mushroom substrate. *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 99(8). P. 2947–2955. doi: 10.1016/j.biortech.2007.06.021
64. Xu C., Cai Y., Zhang J., Matsuyama H. Feeding value of total mixed ration silage with spent mushroom substrate. *Animal Scie. J. = Nihon Chikusan Gakkaiho*. 2010. Vol. 81(2). P. 194–198. doi: 10.1111/j.1740-0929.2009.00728.x
65. Katya K., Yun Y. H., Park G., Lee J. Y., Yoo G., Bai S. C. Evaluation of the Efficacy of Fermented By-product of Mushroom, *Pleurotus ostreatus*, as a Fish Meal Replacer in Juvenile Amur Catfish, *Silurus asotus*: Effects on Growth, Serological Characteristics and Immune Responses. *Asian-Australasian J. of Animal Sci.* 2014. Vol. 27(10). P. 1478–1486. doi: 10.5713/ajas.2014.14038
66. Liebl M., Gierus M., Rocchi E., Potthast C., Schedle K. Effects of energy reduced diets including alternative protein sources and a phytogenic supplement on performance, carcass traits and digestibility in broiler chickens. *J. of Applied Poultry Research*. 2022. Vol. 31(3). 100265. doi: 10.1016/j.japr.2022.100265
67. Research and Market. Global Poultry (Broiler) Market with Focus on US, Brazil & Mexico: Insights, Trends and Forecast (2019–2023) (Research and Market, Issue). 2019. URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20190801005884/en/Global-Poultry-Broiler-Market-Insights-Trends-and-Forecast-2019-2023-with-Focus-on-US-Brazil-Mexico---ResearchAndMarkets.com> (date of access: 10.05.2024).
68. Henchion M., Hayes M., Mullen A. M., Fenelon M., Tiwari B. Future Protein Supply and Demand : Strategies and Factors Influencing a Sustainable Equilibrium. *Foods* (Basel, Switzerland). 2017. Vol. 6(7). 53. doi: 10.3390/foods6070053
69. Hejdysz M., Kaczmarek S. A., Kubiś M., Adamski M., Perz K., Rutkowski A. The effect of faba bean extrusion on the growth performance, nutrient utilization, metabolizable energy, excretion of sialic acids and meat quality of broiler chickens. *Animal: an Inter. J. of Animal Bioscie.* 2019. Vol. 13(8). P. 1583–1590. doi: 10.1017/S175173111800366X
70. Shi S., Lu J., Tong H., Zou J., Wang K. Effects of graded replacement of soybean meal by sunflower seed meal in laying hen diets on hen performance, egg quality, egg fatty acid composition, and cholesterol content. *J. of Applied Poultry Research*. 2012. Vol. 21(2). P. 367–374. doi: 10.3382/japr.2011-00437
71. Pimentel D., Marklein A., Toth M. A., Karpoff M., Paul G. S., McCormack R., Kyriazis J., Krueger T. Biofuel impacts on world food supply: use of fossil fuel, land and water resources. *Energies*. 2008. Vol. 1(2). P. 41–78. doi: 10.3390/en1010041
72. Attia Y. A., El-Tahawy W. S., Abd El-Hamid A. E. H. E., Nizza A., Al-Harhi M. A., El-Kelway M. I., Bovera F. Effect of feed form, pellet diameter and enzymes supplementation on carcass characteristics, meat quality, blood plasma constituents and stress indicators of broilers. *Archives Animal Breeding*. 2014. Vol. 57(1). 34. doi: 10.7482/0003-9438-57-034
73. Al-Sagan A. A., Al-Yemni A. H., Al-Abdullatif A. A., Attia Y. A., Hussein E. O. S. Effects of Different Dietary Levels of Blue Lupine (*Lupinus*

angustifolius) Seed Meal With or Without Probiotics on the Performance, Carcass Criteria, Immune Organs, and Gut Morphology of Broiler Chickens. *Frontiers in Veterinary Sci.* 2020. Vol. 7. P. 124. doi: 10.3389/fvets.2020.00124

74. de Maria M., Robinson E. J., Kangile J. R., Kadigi R., Dreoni I., Couto M., Howai N., Peci J. Global soybean trade-the geopolitics of a bean. *Global Soybean Trade: The Geopolitics of a Bean Ukri Gcrf Trade Hub.*, 2020. doi: 10.34892/7yn1-k494).

75. Panda A., Zaidi P., Rama Rao S., Raju M. Efficacy of quality protein maize in meeting energy and essential amino acid requirements in broiler chicken production. *J. of Applied Animal Research.* 2014. Vol. 42. P. 133–139.

76. Mallick P., Muduli K., Biswal J. N., Pumwa J. Broiler poultry feed cost optimization using linear programming technique. *J. of Operations and Strategic Planning.* 2020. Vol. 3. P. 31–57. doi: 10.1177/2516600X19896910

77. Sauer S. Soy expansion into the agricultural frontiers of the Brazilian Amazon: The agribusiness economy and its social and environmental conflicts. *Land Use Policy.* 2018. Vol. 79. P. 326–338.

78. Mthana M. S., Mthiyane D. M. N. Low dietary oyster mushroom spent substrate limitedly ameliorates detrimental effects of feeding combined marula seed cake and mucuna seed meal as soya bean replacements in broiler chickens. *Tropical Animal Health and Production.* 2024. Vol. 56(1). 37. doi: 10.1007/s11250-023-03878-9

79. Elkhateeb W. A., EL-Ghwas D. E., Daba G. M. Mushrooms as efficient enzymatic machinery. *J. of Biomedical Research and Environmental Sci.* 2022. Vol. 3. P. 423–428. doi: 10.37871/jbres1460

80. Chuang W. Y., Liu C. L., Tsai C. F., Lin W. C., Chang S. C., Shih H., Shy Y. M., Lee T. T. Evaluation of Waste Mushroom Compost as a Feed Supplement and Its Effects on the Fat Metabolism and Antioxidant Capacity of Broilers. *Animals: an open access J. from MDPI.* 2020. Vol. 10(3). 445. doi: 10.3390/ani10030445

81. Lee T. T., Ciou J. Y., Chiang C. J., Chao Y. P., Yu B. Effect of *Pleurotus eryngii* stalk residue on the oxidative status and meat quality of broiler chickens. *J. of Agricultural and Food Chemistry.* 2012. Vol. 60(44). P. 11157–11163. doi: 10.1021/jf302740h

82. Laudadio V., Tufarelli V. Dehulled-micronised lupin (*Lupinus albus* L. cv. Multitalia) as the main protein source for broilers : influence on growth performance, carcass traits and meat fatty acid composition. *J. of the Sci. of Food and Agriculture.* 2011. Vol. 91(11). P. 2081–2087. doi: 10.1002/jsfa.4426

83. Khan S., Chand N., Naz S., Alrefaei A. F., Albeshr M. F., Losacco C., Khan R. U. Response to dietary methionine and organic zinc in broilers against coccidia under *Eimeria tenella*-challenged condition. *Livestock Sci.* 2023. Vol. 276. 105317. doi: 10.1016/j.livsci.2023.105317

84. Chand N., Ali P., Alhidary I. A., Abdelrahman M. A., Albadani H., Khan M. A., Seidavi A., Laudadio V., Tufarelli V., Khan R. U. Protective Effect of Grape (*Vitis vinifera*) Seed Powder and Zinc-Glycine Complex on Growth Traits and Gut Health of Broilers Following *Eimeria tenella* Challenge. *Antibiotics (Basel, Switzerland).* 2021. Vol. 10(2). 186. doi: 10.3390/antibiotics10020186

85. Ishaq R., Chand N., Khan R. U., Saeed M., Laudadio V., Tufarelli V. Methanolic extract of neem (*Azadirachta indica*) leaves mitigates experimentally induced coccidiosis challenge in Japanese quails. *J. of Applied Animal Research,* 2022. Vol. 50. P. 498–503. doi: 10.1080/09712119.2022.2096037

86. Hafeez A., Ullah Z., Khan R. U., Ullah Q., Naz S. Effect of diet supplemented with coconut essential oil on performance and villus histomorphology in

broiler exposed to avian coccidiosis. *Tropical Animal Health and Production*. 2020. Vol. 52(5). P. 2499–2504. doi: 10.1007/s11250-020-02279-6

87. Ali M., Chand N., Khan R. U., Naz S., Gul S. Anticoccidial effect of garlic (*Allium sativum*) and ginger (*Zingiber officinale*) against experimentally induced coccidiosis in broiler chickens. *J. of Applied Animal Research*, 2019. Vol. 47. P. 79–84. doi: 10.1080/09712119.2019.1573731

88. Chand N., Faheem H., Khan R. U., Qureshi M. S., Alhidary I. A., Abudabos A. M. Anticoccidial effect of mananoligosaccharide against experimentally induced coccidiosis in broiler. *Environmental Sci. and Pollution Research International*. 2016. Vol. 23(14). P. 14414–14421. doi: 10.1007/s11356-016-6600-x

89. Nasir J. A., Chand N., Naz S., Alhidary I. A., Khan R. U., Batool S., Zelai N. T., Pugliese G., Tufarelli V., Losacco C. Dietary Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) Waste Inhibits Experimentally Induced *Eimeria tenella* Challenge in Japanese Quails Model. *Animals: an Open Access J. from MDPI*. 2023. Vol. 13(21). 3421. doi: 10.3390/ani13213421

90. Lloyd-Price J., Abu-Ali G., Huttenhower C. The healthy human microbiome. *Genome Medicine*. 2016. Vol. 8(1). 51. doi: 10.1186/s13073-016-0307-y

91. Byndloss M. X., Pernitzsch S. R., Bäuml A. J. Healthy hosts rule within: ecological forces shaping the gut microbiota. *Mucosal Immunology*. 2018. Vol. 11(5). P. 1299–1305. doi: 10.1038/s41385-018-0010-y

92. Plata G., Baxter N. T., Susanti D., Volland-Munson A., Gangaiah D., Nagireddy A., Mane S. P., Balakuntla J., Hawkins T. B., Kumar Mahajan A. Growth promotion and antibiotic induced metabolic shifts in the chicken gut microbiome. *Communications biology*. 2022. Vol. 5(1). 293. doi: 10.1038/s42003-022-03239-6

93. Hossain M. D., Bulbul S. M., Nishibori M., Islam M. A. Effect of different growth promoters on growth and meat yield of broilers. *J. of Poultry Sci.* 2008. Vol. 45. P. 287–291. doi: 10.2141/jpsa.45.287

94. Barros R., Vieira S. L., Favero A., Taschetto D., Mascarello N. C., Cemin H. Reassessing flavophospholipol effects on broiler performance. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2012. Vol. 41. P. 2458–2462. doi: 10.1590/S1516-35982012001200011

95. Castanon J. I. History of the use of antibiotic as growth promoters in European poultry feeds. *Poultry Sci.* 2007. Vol. 86(11). P. 2466–2471. doi: 10.3382/ps.2007-00249

96. Jha R., Mishra P. Dietary fiber in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, performance, gut health, and on the environment: a review. *J. of Animal Sci. and Biotechnology*. 2021. Vol. 12(1). 51. doi: 10.1186/s40104-021-00576-0

97. Cui Y., Diao Z. P., Fan W. T., Wei J. L., Zhou J. S., Zhu H. Y., Li D. S., Guo L. W., Tian Y. M., Song H., Su Y. H. Effects of dietary inclusion of alfalfa meal on laying performance, egg quality, intestinal morphology, caecal microbiota and metabolites in Zhuanghe Dagu chickens. *Italian J. of Animal Sci.* 2022. Vol. 21(1). P. 831–846. doi: 10.1080/1828051X.2022.2067009

98. Röhe I., Zentek J. Lignocellulose as an insoluble fiber source in poultry nutrition: a review. *J. of Animal Sci. and Biotechnology*. 2021. Vol. 12(1). 82. doi: 10.1186/s40104-021-00594-y

99. Zhang T., Ye J., Xue C., Wang Y., Liao W., Mao L., Yuan M., Lian S. Structural characteristics and bioactive properties of a novel polysaccharide from *Flammulina velutipes*. *Carbohydrate Polymers*. 2018. Vol. 197. P. 147–156. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.05.069

100. Hao Y., Wang X., Yuan S., Wang Y., Liao X., Zhong M., He, Q., Shen H., Liao W., Shen J. Flammulina velutipes polysaccharide improves C57BL/6 mice gut health through regulation of intestine microbial metabolic activity. *Intern. J. of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 167. P. 1308–1318. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.11.085
101. Wei J., Xiao H., Wei Y., Nguempi Tsopmejio I. S., Sun C., Wu H., Jin Z., Song H. Longitudinal Study of the Effects of Flammulina velutipes Stipe Wastes on the Cecal Microbiota of Laying Hens. *mSystems*. 2023. Vol. 8(1). e0083522. doi: 10.1128/msystems.00835-22
102. Ko S. H., Kim H. S. Menopause-Associated Lipid Metabolic Disorders and Foods Beneficial for Postmenopausal Women. *Nutrients*. 2020. Vol. 12(1). 202. doi: 10.3390/nu12010202
103. Wang L., Tang J., Wang L., Tan F., Song H., Zhou J., Li F. Oxidative stress in oocyte aging and female reproduction. *J. of Cellular Physiology*. 2021. Vol. 236(12). P. 7966–7983. doi: 10.1002/jcp.30468
104. Yoshimura Y., Tamura T. Effects of gonadotrophins, steroid hormones, and epidermal growth factor on the in vitro proliferation of chicken granulosa cells. *Poultry Sci*. 1988. Vol. 67(5). P. 814–818. doi: 10.3382/ps.0670814
105. Zhu M., Miao S., Zhou W., Elnesr S. S., Dong X., Zou X. MAPK, AKT/FoxO3a and mTOR pathways are involved in cadmium regulating the cell cycle, proliferation and apoptosis of chicken follicular granulosa cells. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 214. 112091. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112091
106. Liu X., Lin X., Zhang S., Guo C., Li J., Mi Y., Zhang C. Lycopene ameliorates oxidative stress in the aging chicken ovary via activation of Nrf2/HO-1 pathway. *Aging*. 2018. Vol. 10(8). P. 2016–2036. doi: 10.18632/aging.101526
107. Ciccone N. A., Sharp P. J., Wilson P. W., Dunn I. C. Changes in reproductive neuroendocrine mRNAs with decreasing ovarian function in ageing hens. *General and Comparative Endocrinology*. 2005. Vol. 144(1). P. 20–27. doi: 10.1016/j.ygcen.2005.04.009
108. Meng X. T., Hou N. N., Wang X. J., Jiao H. C., Zhao J. P., Song Z. G., Lin H. Increased hepatic yolk precursor synthesis, secretion and facilitated uptake by follicles are involved in the rejuvenation of reproductive performance of molted hens (*Gallus gallus domesticus*). *General and Comparative Endocrinology*. 2013. Vol. 194, 198–207. doi: 10.1016/j.ygcen.2013.09.007
109. Gu Y. F., Chen Y. P., Jin R., Wang C., Wen C., Zhou Y. M. Age-related changes in liver metabolism and antioxidant capacity of laying hens. *Poultry Sci*. 2021. Vol. 100(12). 101478. doi: 10.1016/j.psj.2021.101478
110. Schneider W. J. Lipoprotein receptors in oocyte growth. *The Clinical Investigator*. 1992. Vol. 70(5). P. 385–390. doi: 10.1007/BF00235517
111. Walzem R. L., Hansen R. J., Williams D. L., Hamilton R. L. Estrogen induction of VLDL assembly in egg-laying hens. *The J. of Nutrition*, 129(2S Suppl.). 1999. P. 467S–472S. doi: 10.1093/jn/129.2.467S
112. Barber D. L., Sanders E. J., Aebersold R., Schneider W. J. The receptor for yolk lipoprotein deposition in the chicken oocyte. *The J. of Biological Chemistry*. 1991. Vol. 266(28). P. 18761–18770.
113. Li J., Leghar, I. H., H, B., Zen, W., M, Y., Zhang C. Estrogen stimulates expression of chicken hepatic vitellogenin II and very low-density apolipoprotein II through ER- α . *Theriogenology*. 2014. Vol. 82(3). P. 517–524. doi: 10.1016/j.theriogenology.2014.05.003

114. Bujo H., Hermann M., Kaderli M. O., Jacobsen L., Sugawara S., Nimpf J., Yamamoto T., Schneider W. J. Chicken oocyte growth is mediated by an eight ligand binding repeat member of the LDL receptor family. *The EMBO J.* 1994. Vol. 13(21). P. 5165–5175. doi: 10.1002/j.1460-2075.1994.tb06847.x
115. Liu X. T., Lin X., Mi Y. L., Zeng W. D., Zhang C. Q. Age-related changes of yolk precursor formation in the liver of laying hens. *J. of Zhejiang University. Sci. B.* 2018. Vol. 19(5). P. 390–399. doi: 10.1631/jzus.B1700054
116. Omer N. A., Hu Ya., Hu Yu., Idriss A. A., Abobaker H., Hou Z., Dong H., Zhao R. Dietary betaine activates hepatic VTGII expression in laying hens associated with hypomethylation of GR gene promoter and enhanced GR expression. *J. of Animal Sci. and Biotechnology.* 2018. Vol. 9. 2. doi: 10.1186/s40104-017-0218-9
117. Yang J. X., Chaudhry M. T., Yao J. Y., Wang S. N., Zhou B., Wang M., Han C. Y., You Y., Li Y. Effects of phyto-oestrogen quercetin on productive performance, hormones, reproductive organs and apoptotic genes in laying hens. *J. of Animal Physiology and Animal Nutrition.* 2018. Vol. 102(2). P. 505–513. doi: 10.1111/jpn.12778
118. Xing C., Wang Y., Dai X., Yang F., Luo J., Liu P., Zhang C., Cao H., Hu G. The protective effects of resveratrol on antioxidant function and the mRNA expression of inflammatory cytokines in the ovaries of hens with fatty liver hemorrhagic syndrome. *Poultry Sci.* 2020. Vol. 99(2). P. 1019–1027. doi: 10.1016/j.psj.2019.10.009
119. Yeh M. Y., Ko W. C., Lin L. Y. Hypolipidemic and antioxidant activity of enoki mushrooms (*Flammulina velutipes*). *BioMed Research International.* 2014. 352385. doi: 10.1155/2014/352385
120. Rahman M. A., Abdullah N., Aminudin N. Antioxidative Effects and Inhibition of Human Low Density Lipoprotein Oxidation In Vitro of Polyphenolic Compounds in *Flammulina velutipes* (Golden Needle Mushroom). *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2015. 403023. doi: 10.1155/2015/403023
121. Hu Q., Yu J., Yang W., Kimatu B. M., Fang Y., Ma N., Pei F. Identification of flavonoids from *Flammulina velutipes* and its neuroprotective effect on pheochromocytoma-12 cells. *Food Chemistry.* 2016. Vol. 204. P. 274–282. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.02.138
122. Sirtori C. R., Arnoldi A., Johnson S. K. Phytoestrogens: end of a tale? *Annals of Medicine.* 2005. Vol. 37(6). P. 423–438. doi: 10.1080/07853890510044586
123. Mahfuz S., He T., Liu S., Wu D., Long S., Piao X. Dietary Inclusion of Mushroom (*Flammulina velutipes*) Stem Waste on Growth Performance, Antibody Response, Immune Status, and Serum Cholesterol in Broiler Chickens. *Animals: an Open Access J. from MDPI.* 2019. Vol. 9(9). 692. doi: 10.3390/ani9090692
124. Liu X., Zhao J., Zhang G., Hu J., Liu L., Piao X., Zhang S., Li Y. Dietary Supplementation with *Flammulina velutipes* Stem Waste on Growth Performance, Fecal Short Chain Fatty Acids and Serum Profile in Weaned Piglets. *Animals: an open access J. from MDPI.* 2020. Vol. 10(1). 82. doi: 10.3390/ani10010082
125. Nguepi Tsopmejio I. S., Ding M., Wei J. L., Zhao C., Jiang Y., Li Y. T., Song H. *Auricularia polytricha* and *Flammulina velutipes* ameliorate inflammation and modulate the gut microbiota via regulation of NF- κ B and Keap1/Nrf2 signaling pathways on DSS-induced inflammatory bowel disease. *Food Bioscience.* 2022. Vol. 47. 101426. doi: 10.1016/j.fbio.2021.101426
126. Wu H., Yuan J., Yin H., Jing B., Sun C., Nguepi Tsopmejio I. S., Jin Z., Song, H. *Flammulina velutipes* stem regulates oxidative damage and synthesis of yolk

precursors in aging laying hens by regulating the liver-blood-ovary axis. *Poultry Sci.* 2023. Vol. 102(1). 102261. doi: 10.1016/j.psj.2022.102261

127. Malmuthuge N., Guan L. L. Understanding the gut microbiome of dairy calves: Opportunities to improve early-life gut health. *J. of Dairy Sci.* 2017. Vol. 100(7). P. 5996–6005. doi: 10.3168/jds.2016-12239

128. Szacawa E., Dudek K., Wasiak M., Bednarek D., Bederska-Lojewska D., Muszyńska B., Pieszka M. Effect of Supplementation with the Combination of Se-Enriched *Lentinula edodes* Mycelium, Exogenous Enzymes, Acidifiers, Sodium Butyrate and Silicon Dioxide Nanoparticle Feed Additives on Selected Parameters in Calves. *Molecules (Basel, Switzerland)*. 2022. Vol. 27(16). 5163. doi: 10.3390/molecules27165163

129. El-Nour H. H., Whba T. M., Ibrahim M. A., Anwer A. M. Impact of supplementation with carboxylic acid salts on growth rate and some blood biochemical values in male lambs. *Global Veterinaria*. 2010. Vol. 4. P. 90–96.

130. Pearlin B. V., Muthuvel S., Govidasamy P., Villavan M., Alagawany M., Ragab Farag M., Dhama K., Gopi M. Role of acidifiers in livestock nutrition and health: A review. *J. of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2020. Vol. 104(2). P. 558–569. doi: 10.1111/jpn.13282

131. Mroczek I., Frankiewicz A., Selwet M. The effect of acidifying additives on the microbiological stability of feed mixtures. *J. of Animal and Feed Sci.* 2005. Vol. 14. 385. doi: 10.22358/jafs/70586/2005

132. Carro M. D., Ungerfeld E. M. Utilization of organic acids to manipulate ruminal fermentation and improve ruminant productivity. In: *Rumen Microbiology : From Evolution to Revolution*; Springer: New Delhi, India, 2015. P. 177–197.

133. Quigley J. D., Drewry J. J., Murray L. M., Ivey S. J. Body weight gain, feed efficiency, and fecal scores of dairy calves in response to galactosyl-lactose or antibiotics in milk replacers. *J. of Dairy Sci.* 1997. Vol. 80(8). P. 1751–1754. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76108-3

134. Sarker M., Ko S., Lee S., Kim G., Choi J., Yang C. Effect of Different Feed Additives on Growth Performance and Blood Profiles of Korean Hanwoo Calves. *Asian-Australasian J. of Animal Sci.* 2010. Vol. 23(1). P. 52–60. doi: 10.5713/ajas.2010.90280

135. Ribeiro M. D., Pereira J. C., Queiroz A. C. D., Cecon P. R., Detmann E., Azevêdo J. A. G. Performance of dairy calves fed milk, milk replacer or post-weaning concentrate with acidifiers. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2009. Vol. 38(5). P. 956–963. doi: 10.1590/S1516-35982009000500024

136. Płaczek A., Stępień P., Żarczyński P., Patorczyk-Pytlik B. Methods for enrichment of animal diets with selenium. *J. of Elementology*. 2019. Vol. 24(3). P. 1159–1172. doi: 0.5601/jelem.2018.23.3.1703

137. Müller A., Bertram A., Freude B. Saisonale und überregionale Unterschiede im Selenversorgungsstatus von Rindern [Differences in the selenium supply of cattle across Europe]. *Tierärztliche Praxis. Ausgabe G, Grosstiere. Nutztiere*. 2014. Vol. 42(3). P. 131–144.

138. Kiremidjian-Schumacher L., Stotzky G. Selenium and immune responses. *Environmental Research*. 1987. Vol. 42(2). P. 277–303. doi: 10.1016/s0013-9351(87)80194-9

139. Hidiroglou M., Proulx J., Jolette J. Intraruminal selenium pellet for control of nutritional muscular dystrophy in cattle. *J. of Dairy Sci.* 1985. Vol. 68(1). P. 57–66. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(85)80797-9

140. Pecoraro B. M., Leal D. F., Frias-De-Diego A., Browning M., Odle J., Crisci E. The health benefits of selenium in food animals: a review. *J. of Animal Sci. and Biotechnology*. 2022. Vol. 13(1). 58. doi: 10.1186/s40104-022-00706-2
141. Pehrson B., Ortman K., Madjid N., Trafikowska U. The influence of dietary selenium as selenium yeast or sodium selenite on the concentration of selenium in the milk of Suckler cows and on the selenium status of their calves. *J. of Animal Sci.* 1999. Vol. 77(12). P. 3371–3376. doi: 10.2527/1999.77123371x
142. Ran L., Wu X., Shen X., Zhang K., Ren F., Huang K. Effects of selenium form on blood and milk selenium concentrations, milk component and milk fatty acid composition in dairy cows. *J. of the Sci. of Food and Agriculture*. 2010. Vol. 90(13). P. 2214–2219. doi: 10.1002/jsfa.4073
143. Suchocki P., Misiewicz-Krzemińska I., Skupińska K., Niedźwiecka K., Lubelska K., Fijałek Z., Kasprzycka-Guttman T. Selenitetriglicerydes affect CYP1A1 and QR activity by involvement of reactive oxygen species and Nrf2 transcription factor. *Pharmacological reports: PR*. 2010. Vol. 62(2). P. 352–361. doi: 10.1016/s1734-1140(10)70275-9
144. Guo F. C., Williams B. A., Kwakkel R. P., Li H. S., Li X. P., Luo J. Y., Li W. K., Verstegen M. W. Effects of mushroom and herb polysaccharides, as alternatives for an antibiotic, on the cecal microbial ecosystem in broiler chickens. *Poultry Sci.* 2004. Vol. 83(2). P. 175–182. doi: 10.1093/ps/83.2.175
145. Turlo J., Gutkowska B., Herold F., Dawidowski M., Słowiński T., Zobel A. Relationship between selenium accumulation and mycelial cell composition in *Lentinula edodes* (Berk.) cultures. *J. of Toxicology and Environmental Health. Part A*. 2010. Vol. 73(17–18). P. 1211–1219. doi: 10.1080/15287394.2010.492005
146. Drori A., Shabat Y., Ben Ya'acov A., Danay O., Levanon D., Zolotarov L., Ilan Y. Extracts from *Lentinula edodes* (Shiitake) Edible Mushrooms Enriched with Vitamin D Exert an Anti-Inflammatory Hepatoprotective Effect. *J. of Medicinal Food*. 2016. Vol. 19(4). P. 383–389. doi: 10.1089/jmf.2015.0111
147. Kieliszek M., Błażej S. Current Knowledge on the Importance of Selenium in Food for Living Organisms : A Review. *Molecules (Basel, Switzerland)*. 2016. Vol. 21(5). 609. doi: 10.3390/molecules21050609
148. Murphy E. A., Davis J. M., Carmichael M. D. Immune modulating effects of β -glucan. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 2010. Vol. 13(6). P. 656–661. doi: 10.1097/MCO.0b013e32833f1afb
149. Rop O., Mlcek J., Jurikova T. Beta-glucans in higher fungi and their health effects. *Nutrition Reviews*. 2009. Vol. 67(11). P. 624–631. doi: 10.1111/j.1753-4887.2009.00230.x
150. Mizuno M., Nishitani Y. Immunomodulating compounds in Basidiomycetes. *J. of Clinical Biochemistry and Nutrition*. 2013. Vol. 52(3). P. 202–207. doi: 10.3164/jcfn.13-3
151. Mizuno M., Minato K. I. Anti-inflammatory and immunomodulatory properties of polysaccharides in mushrooms. *Current Opinion in Biotechnology*. 2024. Vol. 86. 103076. doi: 10.1016/j.copbio.2024.103076
152. Rangel-Vargas E., Rodriguez J. A., Domínguez R., Lorenzo J. M., Sosa M. E., Andrés S. C., Rosmini M., Pérez-Alvarez J. A., Teixeira A., Santos E. M. Edible Mushrooms as a Natural Source of Food Ingredient. *Additive Replacer. Foods (Basel, Switzerland)*. 2021. Vol. 10(11). 2687. doi: 10.3390/foods10112687
153. Elhusseiny S. M., El-Mahdy T. S., Awad M. F., Elleboudy N. S., Farag M. M. S., Yassein M. A., Aboshanab K. M. Proteome Analysis and In Vitro

Antiviral, Anticancer and Antioxidant Capacities of the Aqueous Extracts of *Lentinula edodes* and *Pleurotus ostreatus* Edible Mushrooms. *Molecules (Basel, Switzerland)*. 2021. Vol. 26(15). 4623. doi: 10.3390/molecules26154623

154. Roszczyk A., Turło J., Zagożdżon R., Kaleta B. Immunomodulatory Properties of Polysaccharides from *Lentinula edodes*. *Intern. J. of Molecular Sci.* 2022. Vol. 23(16). 8980. doi: 10.3390/ijms23168980

155. Łysakowska P., Sobota A., Wirkijowska A. Medicinal Mushrooms : Their Bioactive Components, Nutritional Value and Application in Functional Food Production-A Review. *Molecules (Basel, Switzerland)*. 2023. Vol. 28(14). 5393. doi: 10.3390/molecules28145393

156. Gariboldi M. B., Marras E., Ferrario N., Vivona V., Prini P., Vignati F., Perletti G. Anti-Cancer Potential of Edible/Medicinal Mushrooms in Breast Cancer. *International J. of Molecular Sci.* 2023. Vol. 24(12). P. 10120. doi: 10.3390/ijms241210120

157. Muszyńska B., Kała K., Włodarczyk A., Krakowska A., Ostachowicz B., Gdula-Argasińska J., Suchocki P. *Lentinula edodes* as a Source of Bioelements Released into Artificial Digestive Juices and Potential Anti-inflammatory Material. *Biological Trace Element Research*. 2020. Vol. 194(2). P. 603–613. doi: 10.1007/s12011-019-01782-8

158. Spim S. R. V., Castanho N. R. C. M., Pistila A. M. H., Jozala A. F., Oliveira Júnior J. M., Grotto D. *Lentinula edodes* mushroom as an ingredient to enhance the nutritional and functional properties of cereal bars. *J. of Food Sci. and Technology*. 2021. Vol. 58(4). P. 1349–1357. doi: 10.1007/s13197-020-04646-5

159. Szacawa E., Dudek K., Bednarek D., Pieszka M., Bederska-Łojewska D. A Pilot Study on The Effect of a Novel Feed Additive Containing Exogenous Enzymes, Acidifiers, Sodium Butyrate and Silicon Dioxide Nanoparticles on Selected Cellular Immune Indices and Body Weight Gains of Calves. *J. of Vet. Research*. 2021. Vol. 65(4). P. 497–504. doi: 10.2478/jvetres-2021-000068

160. Bederska-Łojewska D., Muszyńska B., Orczewska-Dudek S., Kamyczek M., Kmiecik E., Lazur J., Pieszka M. Effect of Two Feed Additives-One Multicomponent Based on Nanosilica and the Second Containing Mycelium of *Lentinula edodes* Fortified with Selenium-On Production Parameters and Histological Analysis of Calves' Duodenum and Abdominal Rumen. *Animals: an Open Access J. from MDPI*. 2022. Vol. 12(10). 1246. doi: 10.3390/ani12101246

161. Bintsis T. Foodborne pathogens. *AIMS Microbiology*, 2017. Vol. 3(3). P. 529–563. doi: 10.3934/microbiol.2017.3.529

162. Litt P. K., Kelly A., Omar A., Johnson G., Vinyard B. T., Kniel K. E., Sharma M. Temporal and Agricultural Factors Influence *Escherichia coli* Survival in Soil and Transfer to Cucumbers. *Applied and Environmental Microbiology*. 2021. Vol. 87(7). e02418-20. doi: 10.1128/AEM.02418-20

163. Parmar S., Shrivastav S., Bhattacharya S. Insights on broad spectrum applications and pertinence of biofiltration in various fields (1st ed.), An Innovative Role of Biofiltration in Wastewater Treatment Plants (WWTPs). 2020. Chapter 10.

164. Couto S. R., Toca-Herrera J. L. Laccase production at reactor scale by filamentous fungi. *Biotechnology Advances*. 2007. Vol. 25(6). P. 558–569. doi: 10.1016/j.biotechadv.2007.07.002

165. Chirside A. E. M., Harris J. P., Gregory N. Degradation of harmful bacteria in simulated wastewater by the white rot fungus *P. ostreatus*. *World Environmental and Water Resources Congress*. 2013. doi: 10.1061/9780784412947.149

166. Omar A. N., Chirnside A., Kniel K. E. Evaluation of White Rot Fungus to Control Growth of *Escherichia coli* in Cattle Manure. *J. of Food Protection*. 2024. Vol. 87(1). 100206. doi: 10.1016/j.jfp.2023.100206
167. Pointing S. B. Feasibility of bioremediation by white-rot fungi. *Applied microbiology and biotechnology*. 2001. Vol. 57(1–2). P. 20–33. doi: 10.1007/s002530100745
168. Wu F., Ozaki H., Terashima Y., Imada T., Ohkouchi Y. Activities of ligninolytic enzymes of the white rot fungus, *Phanerochaete chrysosporium* and its recalcitrant substance degradability. *Water Sci. and Technology*. 1996. Vol. 34(7–8). P. 69–78.
169. Verma P., Madamwar D. Production of ligninolytic enzymes for dye decolorization by cocultivation of white-rot fungi *Pleurotus ostreatus* and *phanerochaete chrysosporium* under solid-state fermentation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2002. Vol. 102-103(1-6). P. 109–118. doi: 10.1385/abab:102-103:1-6:109
170. Barron G. L., Thorn R. G. Destruction of nematodes by species of *Pleurotus*. *Canadian J. of Botany*. 1987. Vol. 65(4). P. 774–778. doi: 10.1139/b87-103
171. Carroll G. C., Wicklow D.T. *The Fungal Community; Its organization and role in the ecosystem* (4th ed.), The CRC Press, 1992. P. 535–539.
172. Palani S. Determination of the efficacy of fungal bioreactors to remove *E. coli* from aqueous dairy manure. A thesis submitted to the Faculty of the University of Delaware in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Civil Engineering (Order No. 28085953). 2020.
173. Barron G. L. Predatory fungi, wood decay, and the carbon cycle. *Biodiversity*. 2003. Vol. 4(1). P. 3–9. doi: 10.1080/14888386.2003.9712621
174. Adeb O. A., Njobe P. B., Gbashi S., Nwinyi O. C., Mavumengwana V. Review on microbial degradation of aflatoxins. *Critical Reviews in Food Sci. and Nutrition*. 2017. Vol. 57(15). P. 3208–3217. doi: 10.1080/10408398.2015.1106440
175. Pitta D. W., Indugu N., Kumar S., Vecchiarelli B., Sinha R., Baker L. D., Bhukya B., Ferguson J. D. Metagenomic assessment of the functional potential of the rumen microbiome in Holstein dairy cows. *Anaerobe*. 2016. Vol. 38. P. 50–60. doi: 10.1016/j.anaerobe.2015.12.003
176. Matthews C., Crispie F., Lewis E., Reid M., O'Toole P. W., Cotter P. D. The rumen microbiome: a crucial consideration when optimising milk and meat production and nitrogen utilisation efficiency. *Gut Microbes*. 2019. Vol. 10(2). P. 115–132. doi: 10.1080/19490976.2018.1505176
177. Henderson G., Cox F., Ganesh S., Jonker A., Young W., Global Rumen Census Collaborators, Janssen P. H. Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Scientific reports*. 2015. Vol. 5. 14567. doi: 10.1038/srep14567
178. Maga E. A., Weimer B. C., Murray J. D. Dissecting the role of milk components on gut microbiota composition. *Gut Microbes*. 2013. Vol. 4(2). P. 136–139. doi: 10.4161/gmic.23188
179. Chu G. M., Yang J. M., Kim H. Y., Kim C. H., Song Y. M. Effects of fermented mushroom (*Flammulina velutipes*) by-product diets on growth performance and carcass traits in growing-fattening Berkshire pigs. *Animal Sci. J. = Nihon Chikusan Gakkaiho*. 2012. Vol. 83(1). P. 55–62. doi: 10.1111/j.1740-0929.2011.00924.x
180. Gao X. H., Dou L. M., Li J. T., Chen L., Zhang E. P. Fermentation condition of *Pleurotus eryngii* waste sticks feed and its feed effects on goats. *Chinese J. of Animal Nutrition*. 2018. Vol. 30. P. 1973–1980.

181. Gao X. H., Qu X. M., Zhou Y. T., Zhang E. P. Isolation and identification of forage microbial community and its effect on the fermentation quality of *Pleurotus eryngii* substrate. *Acta Microbiologica Sinica*. 2018. Vol. 58. P. 2110–2122. doi: 10.13343/j.cnki.wsxb.20170626
182. Rabelo C. H. S., Basso F. C., Lara E. C., Jorge L. G. O., Härter C. J., Mesquita L. G., Silva L. F. P., Reis R. A. Effects of *Lactobacillus buchneri* as a silage inoculant and as a probiotic on feed intake, apparent digestibility and ruminal fermentation and microbiology in wethers fed low-dry-matter whole-crop maize silage. *Grass and Forage Sci*. 2018. Vol. 73(1). P. 67–77. doi: 10.1111/gfs.12303
183. Yang C. X., Wang T., Gao L. N., Yin H. J., Lü X. Isolation, identification and characterization of lignin-degrading bacteria from Qinling, China. *J. of Applied Microbiology*. 2017. Vol. 123(6). P. 1447–1460. doi: 10.1111/jam.13562
184. Zhang B., Li Y., Zhang F., Linhardt R. J., Zeng G., Zhang A. Extraction, structure and bioactivities of the polysaccharides from *Pleurotus eryngii*: A review. *Intern. J. of Biological Macromolecules*. 2020. Vol. 150. P. 1342–1347. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.10.144
185. Guo Y., Chen X., Gong P., Wang R., Qi Z., Deng Z., Han A., Long H., Wang J., Yao W., Yang W., Wang J., Li N. Advances in Postharvest Storage and Preservation Strategies for *Pleurotus Eryngii*. *Foods (Basel, Switzerland)*. 2023. Vol. 12(5). 1046. doi: 10.3390/foods12051046
186. Amerikanou C., Tagkouli D., Tsiaka T., Lantzouraki D. Z., Karavoltos S., Sakellari A., Kleftaki S. A., Koutrotsios G., Giannou V., Zervakis G. I., Zoumpoulakis P., Kalogeropoulos N., Kaliora A. C. *Pleurotus eryngii* Chips-Chemical Characterization and Nutritional Value of an Innovative Healthy Snack. *Foods (Basel, Switzerland)*. 2023. Vol. 12(2). P. 353. doi: 10.3390/foods12020353
187. Huang X., Zhou L., You X., Han H., Chen X., Huang X. Production performance and rumen bacterial community structure of Hu sheep fed fermented spent mushroom substrate from *Pleurotus eryngii*. *Sci. Reports*. 2023. Vol. 13(1). 8696. doi: 10.1038/s41598-023-35828-8
188. Bisen P. S., Baghel R. K., Sanodiya B. S., Thakur G. S., Prasad G. B. *Lentinus edodes* : a macrofungus with pharmacological activities. *Current Medicinal Chemistry*. 2010. Vol. 17(22). P. 2419–2430. doi: 10.2174/092986710791698495
189. Li X., Zhang H., Xu H. Analysis of chemical components of shiitake polysaccharides and its anti-fatigue effect under vibration. *Inter. J. of Biological Macromolecules*. 2009. Vol. 45(4). P. 377–380. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2009.07.005
190. Hobbs C. R. Medicinal value of *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. (Agaricomycetidae). A literature review. *Intern J. of Med. Mushrooms*. 2000. Vol. 2. P. 287–302. doi: 10.1615/IntJMedMushr.v2.i4.90
191. Reguła J., Siwulski M. Dried shiitake (*Lentinula edodes*) and oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushrooms as a good source of nutrient. *Acta Scientiarum Polonorum-Technologia Alimentaria*. 2007. Vol. 6. P. 135–142.
192. Reis F. S., Barros L., Martins A., Ferreira I. C. Chemical composition and nutritional value of the most widely appreciated cultivated mushrooms: an inter-species comparative study. *Food and Chemical Toxicology* 2012. Vol. 50(2). P. 191–197. doi: 10.1016/j.fct.2011.10.056
193. Singh R. S., Kaur H. P., Kanwar J. R. Mushroom Lectins as Promising Anticancer Substances. *Current Protein & Peptide Sci*. 2016. Vol. 17(8). P. 797–807. doi: 10.2174/1389203717666160226144741

194. Fukushima M., Ohashi T., Fujiwara Y., Sonoyama K., Nakano M. Cholesterol-lowering effects of maitake (*Grifola frondosa*) fiber, shiitake (*Lentinus edodes*) fiber, and enokitake (*Flammulina velutipes*) fiber in rats. *Experimental Biology and Medicine* (Maywood, N. J.). 2001. Vol. 226(8). P. 758–765. doi: 10.1177/153537020222600808
195. Anwar H., Suchodolski J. S., Ullah M. I., Hussain G., Shabbir M. Z., Mustafa I., Sohail M. U. Shiitake Culinary-Medicinal Mushroom, *Lentinus edodes* (Agaricomycetes), Supplementation Alters Gut Microbiome and Corrects Dyslipidemia in Rats. *Inter. J. of Med. Mushrooms*. 2019. Vol. 21(1). P. 79–88. doi: 10.1615/IntJMedMushrooms.2018029348
196. Yang H., Hwang I., Kim S., Hong E. J., Jeung E. B. *Lentinus edodes* promotes fat removal in hypercholesterolemic mice. *Experimental and Therapeutic Medicine*. 2013. Vol. 6(6). P. 1409–1413. doi: 10.3892/etm.2013.1333
197. Pang F. H., Xie M. Q., Ling H. H. The investigation of immunodulator tested for the results on the control of a coccidial infection. *Chinese J. of Vet. Parasitology*. 2000. Vol. 8. P. 1–3.
198. Yu J. G., Zhu L. Y. The use of *Astragalus* polysaccharide against infectious bursa disease in chickens. *American J. of Traditional Chinese Vet. Medicine*. 2000. Vol. 6. P. 3–4.
199. Hearst R., Nelson D., McCollum G., Millar B. C., Maeda Y., Goldsmith C. E., Rooney P. J., Loughrey A., Rao J. R., Moore J. E. An examination of antibacterial and antifungal properties of constituents of Shiitake (*Lentinula edodes*) and oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushrooms. *Complementary Therapies in Clinical Practice*. 2009. Vol. 15(1). P. 5–7. doi: 10.1016/j.ctcp.2008.10.002
200. Lee S. H., Lillehoj H. S., Jang S. I., Kim D. K., Ionescu C., Bravo D. Effect of dietary curcuma, capsicum, and *Lentinus*, on enhancing local immunity against *Eimeria acervulina* infection. *J. of Poultry Sci*. 2010. Vol. 47. P. 89–95. doi: 10.2141/jpsa.009025
201. Kusaba A., Okada Y., Ueno H., Yamamoto I., Mori Y., Tanaka N., Arai T., Kawasumi K. Effects of supplementation with Shiitake powder, *Lentinula edodes*, on anti-oxidative activities and energy/lipid metabolism in healthy dogs. *Research Square*. 2022. doi: 10.21203/rs.3.rs-1199968/v1
202. Soroko M., Górnjak W., Zielińska P., Górnjak A., Śniegucka K., Nawrot K., Korczyński M. Effect of *Lentinula edodes* on Morphological and Biochemical Blood Parameters of Horses. *Animals: an Open Access J. from MDPI*. 2022. Vol. 12(9). 1106. doi: 10.3390/ani12091106
203. Soroko-Dubrovina M., Górnjak W., Zielińska P., Górnjak A., Čebulj-Kadunc N., Korczyński M. Evaluation of Shiitake Mushroom (*Lentinula edodes*) Supplementation on the Blood Parameters of Young Thoroughbred Racehorses. *Animals: an Open Access J. from MDPI*. 2022. Vol. 12(22). 3212. doi: 10.3390/ani12223212
204. Oh Y. K., Lee W. M., Choi C. W., Kim K. H., Hong S. K., Lee S. C., Seol Y. J., Kwak W. S., Choi N. J. Effects of spent mushroom substrates supplementation on rumen fermentation and blood metabolites in Hanwoo steers. *Asian-Australasian J. of Animal Sci*. 2010. Vol. 23(12). P. 1608–1613. doi: 10.5713/ajas.2010.10200
205. Lee S. M., Hwang J. H., Yoon Y. B., Kwak W. S., Kim Y. I., Moo S. H., Jeon B. T. Effects of spent mushroom substrates addition on eating behavior of growing Hanwoo. *J. of The Korean Society of Grassland and Forage Sci*. 2008. Vol. 28. P. 107–117. doi: 10.5333/KGFS.2008.28.2.107

**ALTERNATIVE WAYS OF USING THE MUSHROOM SUBSTRATE AS AN
ADDITIVE FOR FEED WITH THE PURPOSE OF IMPROVING ANIMAL
PRODUCTIVITY IN AGRICULTURE
(review)**

T. I. Tiupova, H. M. Tkaczenko, N. M. Kurhaluk
Institute of Biology, Pomeranian University in Slupsk
22B Arciszewskiego St., Slupsk, Poland 76-200

*In modern agriculture, considerable attention is paid to the search for effective and environmentally safe methods of increasing animal productivity. One of the promising directions is the use of mushroom substrate as feed additives. Residual mushroom substrate is often considered as waste, but its processing and use can help reduce feed costs and increase farm profitability. In addition, the use of mushroom substrate helps to reduce the burden on the environment, promoting a closed production cycle. In the article it is considered the alternative ways of using mushroom substrate as a feed additive in order to improve the productivity of animals in agriculture. Mushroom substrate, the residual product after growing mushrooms, contains a rich complex of nutrients, such as proteins, vitamins, minerals and other bioactive components. The use of this substrate as a feed additive can provide economic benefits for farms, reducing the cost of traditional feed and increasing animal productivity. Studies indicate a positive effect of the mushroom substrate on the health of animals, in particular on the improvement of immunity and the general physiological state. In addition to economic benefits, the use of mushroom substrate helps to reduce the amount of waste and improve the environmental sustainability of agriculture, meeting the principles of circular economy and sustainable development. **Objective.** To analyze alternative ways of using mushroom substrate as animal feed additives. In the article it is reviewed modern research and practical experience of using mushroom substrate, its chemical composition and potential benefits for animal husbandry. Special attention is paid to the effect of mushroom substrate on the health of animals, their productivity and general economic indicators of farms. Revealing the potential of mushroom substrate as a feed additive can be an important step in the development of sustainable agriculture, in particular, in the conditions of growing demand for food and resources for its production. **Conclusions.** The article emphasizes the need for further research to optimize the methods of using the mushroom substrate in feed rations of various animal species and to develop new technologies for its processing. The practical implementation of these studies can significantly increase the efficiency and competitiveness of agricultural enterprises.*

Keywords: *mushroom substrate, chemical composition, feed additive, animal productivity, agriculture, bioactive components, feeding.*

Отримано 01.05.2024
Отримано після доопрацювання 29.05.2024
Затверджено до видання 27.06.2024