

ВИКОРИСТАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ГРИБНОГО СУБСТРАТУ ШИЇТАКЕ (*LENTINULA EDODES* (BERK.) PEGL.) ЯК ДОБАВКИ ДО ҐРУНТУ ЗА ВИРОЩУВАННЯ ЛОХИНИ

А.Р. Равліковський¹, Л.Ю. Симочко^{1,2,3}, О.С. Дем'янюк²

¹ДВНЗ «Ужгородський національний університет» (м. Ужгород, Україна)
e-mail: a.r.ravlikovsky@gmail.com; ORCID: 0000-0001-9029-103X

²Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: demolena@ukr.net; ORCID: 0000-0002-4134-9853

³Коїмбрський університет (м. Коїмбра, Португалія)
e-mail: lyudmilassem@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6698-3172

Досліджено ефективність використання відпрацьованого грибною субстрату (ВГС) шиїтаке (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegl.) для удобрення ґрунту в технології вирощування лохини. Проведено порівняльний аналіз хімічного складу ВГС і торфу, хімічний склад ґрунту після 3-річного їх унесення, чисельність мікроорганізмів та вміст загальної мікробної біомаси, спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті. За хімічним складом ВГС практично не поступається торфу: рН 3,7, вміст вологи — 58–59%, вміст органічної речовини в перерахунку на Карбон — 48%, масова частка загального Нітрогену — 1–1,7%, співвідношення C : N — 44,7–51,8 : 1, вміст загального калію — 0,43%, загального фосфору — 0,37%, кальцію — 0,42%, магнію — 0,17%. Оцінка агрохімічних і фізичних показників дерново-підзолистого ґрунту після внесення ВГС і торфу показала, що за більшістю параметрів вони знаходяться на одному рівні. За вмістом органічної речовини, нітратного азоту, водорозчинного кальцію, магнію та натрію, а також показником електропровідності ґрунт із унесенням ВГС мав переваги в середньому в 1,5–3 рази порівняно з додаванням торфу. Результатами мікробіологічного дослідження встановлено, що загальна біомаса мікроорганізмів та чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп була вищою у ґрунті зі внесенням ВГС порівняно з ґрунтом, де вносили торф. Внесення ВГС збільшувало в ґрунті чисельність міцеліальних організмів: мікроміцетів у 4,1 раз, стрептоміцетів — майже втричі. Також встановлено зовільнення деструкційних процесів у дерново-підзолистому ґрунті за внесення ВГС завдяки наявності доступного джерела Карбону і Нітрогену для рослин і мікроорганізмів — значення коефіцієнта оліготрофності зменшилось в 1,6 раз, педотрофності — в 1,4 раз. На підставі отриманих даних встановлено доцільність внесення відпрацьованого субстрату шиїтаке для удобрення дерново-підзолистого ґрунту та позитивний вплив такого агрозаходу на агрохімічні й біологічні властивості ґрунту.

Ключові слова: удобрення ґрунту, дерново-підзолистий ґрунт, агрохімічні параметри, біологічна активність, спрямованість мікробіологічних процесів.

ВСТУП

Гриб шиїтаке (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegl.) є другим найбільш культивованим екзотичним грибом у світі. Його цінують за насичений смак, аромат та поживну цінність, завдяки чому його широко використовують як у кулінарії, так і в фармацевтичній галузі. Найпоширенішою є технологія вирощування шиїтаке на субстратах. Основними перевагами технології культивування шиїтаке є різноманітність

композиційних компонентів субстратів, порівняно швидкий період проростання грибниці, відсутність прив'язки до сезону і можливість працювати безперервно впродовж року [1; 2]. Однак, основним недоліком такої технології є побічний продукт, який утворюється після збору грибів — відпрацьований грибний субстрат (ВГС) та пакети.

Тривалий час відпрацьований субстрат класифікували як відходи. Однак ті самі використані пакети можна було здати на переробку. Одностайної думки щодо того

як правильно поводитись із ВГС не було. Його або компостували, або спалювали. В обох випадках використані методи не були ефективними і породжували нові еколого-економічні проблеми, що і визначило актуальність питання щодо розв'язання існуючої проблеми.

Хоч відпрацьований субстрат уже не придатний для вирощування грибів, він усе ще багатий на поживні речовини. Тому класифікувати його як відходи не зовсім правильно. Навпаки, його варто розглядати як побічний продукт або сировину, яку можна повторно використати або піддати переробці.

На теренах України вирощування шийтаке тільки набуває поширення. Більшість фермерських господарств, які займаються вирощуванням цього виду гриба, знаходяться в центральній частині країни. В середньому врожайність грибів становить 2–3 т на 1 міс., а це 10–15 т відпрацьованого субстрату. У Західному регіоні України успішно працює фермерське господарство з вирощування шийтаке з продуктивністю 6–7 т свіжого гриба на тиждень (30–35 т відпрацьованого субстрату), що становить до 2000 т відпрацьованого субстрату на рік. Варто зазначити про помітне поступове зростання попиту на гриби шийтаке за період 2019–2022 рр. як на вітчизняному, так і європейському ринках, що дає можливість існуючим фермерським господарствам збільшити свою поточну потужність, а також появи нових підприємств. Водночас поряд із збільшенням виробництва грибів шийтаке зростає і кількість відпрацьованого грибного субстрату, а відтак і екологічні проблеми.

Мета роботи — з'ясувати можливість використання відпрацьованого грибного субстрату шийтаке (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegl.) як добавки до ґрунту для вирощування сільськогосподарських культур на прикладі лохини.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Повторне використання субстратів після культивування грибів широко досліджу-

ється в усьому світі в аспекті додаткового поживного середовища в технологіях вирощування різних сільськогосподарських культур. Так, відпрацьований субстрат *Agaricus bisporus* та *Pleurotus ostreatus* досліджували як компонент середовища для пророщування та вирощування розсади овочевих культур: томатів (*Lycopersicon esculentum* var. *Muchamiel*), кабачків (*Cucurbita pepo* L. var. *Afrodite* F₁) і перцю (*Capsicum annum* L. var. *Lamuyo* F₁). Було встановлено, що в більшості випадків додавання відпрацьованого субстрату в живильні середовища призводило до зростання рН, вмісту солей, макро- і мікроелементів, а також зниження вологостримувальної здатності порівняно з торфом. Окрім цього, виявлено, що для пророщування томатів, кабачків і перцю ефективним є різні суміші з відпрацьованим субстратом, аж до співвідношення 75:25, що дає можливість розглядати його як альтернативу торфу [3].

До того ж, ВГС комплексно вивчають як можливу альтернативу і заміну торфу у складі біогрядок. Дослідження біосумішей, що містять різні відпрацьовані субстрати (*Pleurotus eryngii*, *Flammulina velutipes* і *Lentinus edodes*), показали, що за фізико-хімічними характеристиками, біологічною активністю та розкладанням пестицидів можуть бути використані як заміники торфу в складі біогрядок за вирощування агрокультур [4].

Результати досліджень відпрацьованого субстрату глив *Pleurotus eryngii* та *Pleurotus ostreatus* засвідчили, що під час безперервного вирощування агрокультур відносна вологість та вміст полісахаридів у відпрацьованому субстраті поступово зменшується. Також, було встановлено, що в ході компостування ВГС зростає відносний вміст гумінових кислот, а додавання цього відпрацьованого субстрату в ґрунт призводило до значного збільшення вмісту мінерального Нітрогену. Для підвищення ефективності використання ВГС рекомендовано застосовувати відпрацьований грибний субстрат у поєднанні з сечовиною [5]. Крім того, дослідники зазначають про важливість стабілізації ВГС, що підвищить

його позитивний вплив на агроценози, зокрема садові, і зменшить негативну дію на торфові екосистеми та їх виснаження [6].

Для покращання властивостей відпрацьованого субстрату *Pleurotus* spp. використовували волокна фінікової пальми *Phoenix dactylifera* L. (*Fibrillum*), у різних співвідношеннях з основними компонентами субстрату, а також із додаванням тирси та соломи пшениці. На основі отриманих даних було зроблено висновок, що відпрацьовані субстрати добре підходили для використання як добрива в сільському господарстві та садівництві, а застосування волокон фінікової пальми тільки поліпшували їх властивості [5].

Досліджуючи процеси анаеробної ферментації і структуру мікробіому відпрацьованого субстрату *Pleurotus eryngii* на етапі його підготовки встановлено, що гідролітична активність розчинних цукрів, уміст сирого протеїну та сирих ліпідів виявлялася переважно у початковій фазі, що супроводжується надмірним накопиченням летких жирних кислот та низьким виходом метану. Його кількість різко зростала на 4- і 6-ту добу і супроводжувалася швидкою деструкцією біополімерів целюлози та геміцелюлози (47,53% і 55,08% відповідно). На різних стадіях ферментації виявлено, що *Proteobacteria* були домінуювальним видом, а серед архей було багато *Crenarchaeota*. Найпоширенішими родами архей були бактерії, яких ідентифікували як *Methanothermobacter* і *Methanobacterium*, кількість останніх з часом зменшувалася. Сумарний вихід метану сягав 177,69 мл/г [7].

У світі торф і ВСГ широко застосовують як субстрат для вирощування овочевих культур [8; 9]. Так, наприклад, в експерименті із середовищем для росту розсади томатів і перцю на основі компостованих залишків біогазу та відпрацьованого субстрату було показано, що додавання субстрату на основі торфу збільшило рН, електропровідність, пористість, об'ємну щільність і поживність, а також знизило водоутримувальну здатність та загальну пористість. Застосування ВСГ не вплину-

ло на відсоток схожості насіння, але мало позитивний вплив на розвиток розсади. Результати свідчать, що залишки біогазу та ВСГ є альтернативою торфу, що дає змогу частково або повністю його замінити [8]. Доведено можливість використання ВСГ в органічних технологіях вирощування салату та цибулі порей із позитивним впливом на ґрунтову систему і врожайність [10].

Проведені дослідження з використанням ВСГ від *Pleurotus*, *Lentinus* і *Ganoderma*, їх похідних та продуктів переробки як біодобрив для вирощування пшениці й томатів показали відмінну реакцію на біохімічні характеристикими, біомасу коренів і пагонів рослин та ін. [11].

Групою китайських учених було проведено оцінку здатності різних ВСГ (*Flammulina velutipes*, *Lentinus edodes*, *Pleurotus ostreatus*) пригнічувати збудників фузаріозного в'янення огірка та встановлено зниження частоти захворювань на 53,3%, 25,7 і 37,9%. Усі варіанти ВСГ достовірно ($p < 0,05$) збільшували ріст розсади огірка та пригнічували популяцію збудників фузаріозного в'янення порівняно з контролем [12].

Отже, перспективи застосування ВСГ у сільському господарстві широкі, проте потребують комплексних досліджень впливу на агробіоценоз і ґрунтову екосистему залежно від виду відпрацьованого субстрату, природно-кліматичних умов та виду вирощуваних агрокультур. Особливої уваги потребують дослідження впливу ВСГ на біологічну активність ґрунту і його мікробіом [13–16].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Польові дослідження проводили на базі Фермерського господарства «Грін ФЕ» впродовж 2020–2023 рр. (Закарпатська обл., Ужгородський р-н, с. Сторожниця). Тип ґрунту – дерново-підзолистий з умістом гумусу – 2,3–3,7%, рН – 4. Для вирощування культури лохини на такому типі ґрунту необхідно вносити різні добавки і добрива для покращання його фізико-хімічних, агрохімічних і біологічних по-

казників. Найчастіше для цих потреб використовують торф.

Як альтернативу торфу в дослідях використовували свіжий відпрацьований субстрат шиїтаке (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegl.), наданий ТОВ «Натур Грін Україна» після завершення збору грибів у формі блоків (20×10×15 см) середньою масою 1,3 кг кожен. Перед використанням ВГС зберігали у настипах заввишки 2,5–3 м на відкритому повітрі впродовж 3–6 міс. (рис.).

Періодично проводили замір температури в товщі настипів, визначали рН та вологість у 5-кратному повторенні. Для рівномірного проходження процесу ферментації настипи перемішували і за необхідності зволожували, що також запобігало поширенню *Trichoderma* spp. (зелена цвіль), *Neurospora* spp. (помаранчева цвіль). Перед безпосереднім використанням ВГС проводили замір рН та відносної вологості, показники яких знаходились у межах 3,5–4 і 65–68% відповідно.

Відпрацьований грибний субстрат вносили навесні та восени, рівномірно розподіляючи його навколо кущів лохини з шару рослин 5–6 см по 30–40 кг на 1 м². Із загальною площею фермерського господарства 3 га, 1,5 га були удобрені ВГС. На цій площі були висаджені сорти лохини «Дюк» та «Блюкроп».

Досліджували зміни фізико-хімічних властивостей ВГС та ґрунту після 3-річного

внесення ВГС (варіант I) і торфу (варіант II), чисельність мікроорганізмів та вміст загальної мікробної біомаси, спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті за вирощування лохини. Досліди здійснювали в 4-кратній повторності.

Хімічний склад ВГС і ґрунту визначали стандартними методами [17–24] в акредитованій лабораторії ТОВ «ФАРМЕР.ЮА» (атестат № 202143, від 05.05.2021 р., дійсний до 28.01.2026 р.).

Зразки ґрунту відбирали з шару рослин 0–20 см і проводили підготовку відповідно за методикою: висушували на повітрі та подрібнювали до розміру <3 мм; видимі залишки рослин і мезофауни були видалені. Кількісний склад мікроорганізмів основних еколого-трофічних і таксономічних груп у ґрунті визначали методом посіву ґрунтової суспензії на поживні середовища [13]. Результати оцінки кількості мікроорганізмів, що вирости на поживних середовищах, виражали в колонієутворювальних одиницях (КУО) на 1 г сухого ґрунту. Для цього окреслили вологість зразків ґрунту для дослідів за допомогою термостатно-гравіметричного аналізу та перераховували отриману кількість колоній з урахуванням коефіцієнта зволоження й розчинності ґрунтової суспензії. Отримані дані аналізували за допомогою математичної статистики, розраховуючи довірчий інтервал кількості мікроорганізмів. Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті визна-



Відпрацьований грибний субстрат на етапі відстоювання:
а – настип ВГС; б – ВГС у вигляді блоків

чали за допомогою відповідних коефіцієнтів [13].

Для опрацювання отриманих даних використовували статистичне програмне забезпечення Statistica 10.0. Рівень значущості встановлено на рівні $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати хімічного аналізу ВГС шиїтаке (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegl.) після ферментації та торфу наведено в *табл. 1*, які свідчать, що відпрацьований субстрат за більшістю показників наближується до показників торфу. Однак, ВГС має дуже кислу реакцію середовища (рН 3,7) та меншу частку загального Нітрогену.

Водночас вміст органічної речовини, загального фосфору та магнію є дещо вищим (у 1,1 раза, 1,2, 1,7 раза відповідно). Натомість за вмістом загального калію ВГС перевищує торф у 6,1 раза і може бути застосовано за вирощування калієфільних культур та для внесення в ґрунт із дефіцитом цього елемента.

Оцінка хімічного складу ґрунту після 3-річного внесення торфу і ВГС (30–40 кг/м²) засвідчила зміни і підвищення вмісту мікро- і макроелементів (*табл. 2*).

Як свідчать дані *табл. 2*, внесення ВГС забезпечило підвищення в ґрунті вмісту органічної речовини в 1,4 раза, водорозчинного кальцію і магнію в 1,64–1,69 раза, нітратного азоту – в 3,3 раза порівняно

Таблиця 1. Хімічний склад відпрацьованого грибною субстрату та торфу

Показник	ВГС (після ферментації)	Торф
Вміст вологи, %	58,04	59,32
рН	3,7	4,5
Вміст органічної речовини в перерахунок на Карбон, %	48,44	44,95
Вміст масової частки загального Нітрогену, %	1,76	1,99
Співвідношення С : N	44,7 : 1	45,2 : 1
Вміст загального калію, %	0,43	0,07
Вміст загального фосфору, %	0,37	0,31
Вміст вмісту кальцію, %	0,42	0,50
Вміст вмісту магнію, %	0,17	0,10

Таблиця 2. Фізико-хімічні властивості дерново-підзолистого ґрунту після 3-річного внесення ВГС та торфу за вирощування лохини

Показник	Варіант I (з 3-річним внесенням ВГС)	Варіант II (з 3-річним внесенням торфу)
рН	5,2	5,6
Гідролітична кислотність, ммоль-екв/100 г	44,46	34,65
Електропровідність, мСм / м	56,83	34,73
Вміст вологи, %	49,39	51,9
Вміст органічної речовини, %	49,0	34,31
Вміст нітратного азоту, мг/100 г	103,7	31,19
Вміст амонійного азоту, мг/100 г	2,47	5,20
Вміст рухомих сполук калію, мг/100 г	78,73	73,17
Вміст рухомих форм фосфору, мг/100 г	75,75	74,75
Вміст водорозчинного кальцію, мг/кг	435,0	264,5
Вміст водорозчинного магнію, мг/кг	118,5	69,92
Вміст водорозчинного натрію, мг/кг	96,91	87,54

зі внесенням торфу. Водночас фіксували підкислення ґрунту — рН знижувався до рівня 5,2.

Важливим аспектом у визначенні впливу будь-якого агрозаходу на екосистему ґрунту є оцінювання біологічної активності за чисельністю мікроорганізмів різних еколого-трофічних і фізіологічних груп та спрямованістю мікробіологічних процесів [14–16]. Отримані результати засвідчили в ґрунті із внесенням ВГС збільшення чисельності міцеліальних організмів: мікроміцетів у 4,1 раза, стрептоміцетів — майже втричі (табл. 3). Аналогічно виявили більш високі показники чисельності бактерій. Чисельність амоніфікаторів була вищою у ґрунті із додаванням ВГС у 8,7 раза, педотрофів — у 6,1 раза, бактерій, що використовують Нітроген мінеральних сполук — в 3,6 раза, оліготрофів — в 2,4 раза. Порівняно з варіантом досліді з унесенням торфу, в ґрунті з ВГС уміст загальної біомаси мікроорганізмів був вищим на 10%.

Отже, чисельність мікроорганізмів була значно вищою у ґрунті зі внесенням ВГС, що свідчить про формування сприятливих умов для розвитку ґрунтового мікробіому.

За кількістю ґрунтових мікроорганізмів розраховано коефіцієнти мінералізації, оліготрофності, педотрофності (табл. 4). Встановлено, що в ґрунті із внесенням ВГС напруженість мінералізаційних процесів знижується в 2,5 раза.

У варіантах досліді із внесенням торфу відзначали високі показники коефіцієнта педотрофності (1,40) та оліготрофності (0,43), що свідчить про активне розкладання органічної речовини ґрунту. Натомість внесення ВГС у дерново-підзолистий ґрунт деякою мірою уповільнювало деструкційні процеси в ґрунті завдяки наявності доступного джерела живлення для рослин і мікроорганізмів — значення коефіцієнта оліготрофності зменшилось в 1,6 раза, педотрофності — в 1,4 раза.

Таблиця 3. Чисельність ґрунтових мікроорганізмів і вміст загальної мікробної біомаси в дерново-підзолистому ґрунті

Показник	Варіант I (з 3-річним внесенням ВГС)	Варіант II (з 3-річним внесенням торфу)
Мікроміцети ($\times 10^3$ КОУ г ⁻¹)	8,19±1,69	1,99±0,17
Бактерії, які використовують органічний азот ($\times 10^3$ КОУ г ⁻¹)	11,61±2,12	1,34±0,22
Бактерії, які використовують мінеральний азот ($\times 10^3$ КОУ г ⁻¹)	15,6±1,1	4,3±0,28
Оліготрофи ($\times 10^3$ КОУ г ⁻¹)	1,32±0,13	0,54±0,06
Стрептоміцети ($\times 10^3$ КОУ г ⁻¹)	7,82±0,23	2,68±0,14
Педотрофи ($\times 10^3$ КОУ г ⁻¹)	11,53±0,89	1,88±0,14
Загальна біомаса мікроорганізмів (мкг)	157,10±11,82	143,18±7,11

Таблиця 4. Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті

Варіант досліді	Коефіцієнт мінералізації (К _{мін.})	Коефіцієнт оліготрофності (К _{ол.})	Коефіцієнт педотрофності (К _{пед.})
Варіант 1 (з 3-річним внесенням ВГС)	1,46	0,27	0,99
Варіант 2 (з 3-річним внесенням торфу)	3,60	0,43	1,40

ВИСНОВКИ

Встановлено, що за хімічними показниками відпрацьований субстрат шиїтаке практично не поступається торфу. Внесення ВСГ у дерново-підзолистий ґрунт упродовж трьох років забезпечило поліпшення його агрохімічних властивостей і сприяло підвищенню вмісту органічної речовини в 1,4 раза, водорозчинного кальцію і магнію в 1,64–1,69 раза, нітратного азо-

ту – в 3,3 раза та ін. показниками порівняно з унесенням торфу. В ґрунті зі внесенням ВСГ відбувалась перебудова в мікробному ценозі зі збільшенням чисельності мікроміцетів, стрептоміцетів, бактерій, що використовують Нітроген мінеральних і органічних сполук, педотрофів і оліготрофів. До того ж, знижувалась напруженість процесів мінералізації та процесів розкладання органічної речовини ґрунту.

ЛІТЕРАТУРА

- Ravlikovsky A. and Symochko L. Potential use of spent mushroom substrate of *Lentinula edodes* as a biofertilizer. *International Journal of Ecosystems and Ecology Sciences (IJEES)*. 2020. Vol. 10 (3). P. 527–534. DOI: <https://doi.org/10.31407/ijeec>.
- Ravlikovsky A. and Symochko L. Agroecological aspects of cultivation Shiitake Mushroom in Ukraine. *Technologies of Environmental Protection: International Conference (23–25 October, 2019, High Tatras, Slovakia)*. 2019. P. 221–226.
- Medina E., Paredes C., Pérez-Murcia M.D. et al. Spent mushroom substrates as component of growing media for germination and growth of horticultural plants. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100 (18). P. 4227–4232.
- Gao W., Liang J., Pizzul L. et al. Evaluation of spent mushroom substrate as substitute of peat in Chinese biobeds. *International Biodegradation & Biodegradation*. 2015. Vol. 98. P. 107–112.
- Lou Z., Sun Y., Zhou X. et al. Composition variability of spent mushroom substrates during continuous cultivation, composting process and their effects on mineral nitrogen transformation in soil. *Geoderma*. 2017. Vol. 307. P. 30–37.
- Paula F.S., Tatti E., Abram F. et al. Stabilisation of spent mushroom substrate for application as a plant growth-promoting organic amendment. *Journal of Environmental Management*. 2017. Vol. 196. P. 476–486.
- Owaid M.N., Abed I.A. and Al-Saedi S.S.S. Applicable properties of the bio-fertilizer spent mushroom substrate in organic systems as a byproduct from the cultivation of *Pleurotus* spp. *Information Processing in Agriculture*. 2017. Vol. 4(1). P. 78–82.
- Xiao Z., Lin M., Fan J. et al. Anaerobic digestion of spent mushroom substrate under thermophilic conditions: performance and microbial community analysis. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2017. Vol. 102 (1). P. 499–507.
- Meng X., Dai J., Zhang Y. et al. Composted biogas residue and spent mushroom substrate as a growth medium for tomato and pepper seedlings. *Journal of Environmental Management*. 2018. Vol. 216. P. 62–69.
- Gobbi V., Nicoletto C., Zanin G. and Sambo P. Specific humus systems from mushrooms culture. *Applied Soil Ecology*. 2018. Vol. 123. P. 709–713.
- Mensah D.L.N., Duponnois R., Bourillon J. et al. Biochemical characterization and efficacy of *Pleurotus*, *Lentinus* and *Ganoderma* parent and hybrid mushroom strains as biofertilizers of attapulgite for wheat and tomato growth. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2018. Vol. 16. P. 63–72.
- Wang H.-W., Xu M., Cai X.-Y. et al. Application of spent mushroom substrate suppresses *Fusarium* wilt in cucumber and alters the composition of the microbial community of the cucumber rhizosphere. *European Journal of Soil Biology*. 2020. Vol. 101. 103245.
- Волкогон В.В., Надкернична О.В., Токмакова Л.М. та ін. Експериментальна ґрунтова мікробіологія: моногр. / за ред. В.В. Волкогона. Київ: Аграрна наука, 2010. 464 с.
- Дем'янюк О.С., Симочко Л.Ю., Тертична О.В. Сучасні методичні підходи до оцінювання екологічного стану ґрунту за активністю мікробіоценозу. *Питання біоіндикації та екології*. 2017. Вип. 22. № 1. С. 55–68.
- Шерстобоева О.В., Дем'янюк О.С., Чабанюк Я.В. Біодіагностика і біобезпека ґрунтів агроєкосистем. *Агроєкологічний журнал*. 2017. № 2. С. 142–148. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220170>.
- Симочко Л.Ю., Дем'янюк О.С. Мікробіом ґрунту культурних рослин за різних агротехнологій. *Агроєкологічний журнал*. 2018. № 2. С. 87–92. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2018.157862>.
- ДСТУ 7882:2015. Торф і продукти його переробки для сільського господарства. Методи визначення обмінної та активної кислотності. [Чинний від 2016–07–01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2016. 6 с.
- ДСТУ EN 12048:2005. Добрива тверді та вапнувальні матеріали. Визначення вмісту вологи гравіметричним методом. Висушування за температури (105 ± 2)°C (EN 12048:1996, IDT). [Чинний від 2006–07–01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2006. 8 с.
- ДСТУ 7942:2015. Якість ґрунту. Визначення зольності торфу і торфового ґрунту. [Чинний від 2016–09–01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2016. 6 с.
- ДСТУ 8454:2015. Добрива органічні. Методи визначення органічної речовини. [Чинний від 2017–

- 07–01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2017. 12 с.
21. ДСТУ 7911:2015. Добрива органічні та органо-мінеральні. Методи визначення сумарної масової частки азоту та масової частки амонійного азоту. [Чинний від 2016–07–01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2016. 15 с.
 22. ДСТУ 7949:2015. Добрива органічні. Метод визначення масової частки загального калію. [Чинний від 2016–09–01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2016. 8 с.
 23. ДСТУ EN 15956:2015. Добрива. Метод екстрагування фосфору, розчинного в мінеральних кислотах (EN 15956:2011, IDT). [Чинний від 2016–01–01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2016. 8 с.
 24. ДСТУ 7670:2014. Сировина і продукти харчові. Готування проб. Мінералізація для визначання вмісту токсичних елементів. [Чинний від 2015–07–01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2015. 18 с.

REFERENCES

1. Ravlikovsky, A. & Symochko, L. (2020). Potential use of spent mushroom substrate of *Lentinula edodes* as a biofertilizer. *International Journal of Ecosystems and Ecology Sciences (IJEES)*, 10 (3), 527–534. DOI: <https://doi.org/10.31407/ijeec> [in English].
2. Ravlikovsky, A. & Symochko, L. (2019). Agroecological aspects of cultivation Shiitake Mushroom in Ukraine. *Technologies of Environmental Protection: International Conference (23–25 October 2019, High Tatras, Slovakia)*, 221–226 [in English].
3. Medina, E., Paredes, C., Pérez-Murcia, M.D. et al. (2009). Spent mushroom substrates as component of growing media for germination and growth of horticultural plants. *Bioresource Technology*, 100 (18), 4227–4232 [in English].
4. Gao, W., Liang, J., Pizzul, L. et al. (2015). Evaluation of spent mushroom substrate as substitute of peat in Chinese biobeds. *International Biodegradation & Biodegradation*, 98, 107–112 [in English].
5. Lou, Z., Sun, Y., Zhou, X. et al. (2017). Composition variability of spent mushroom substrates during continuous cultivation, composting process and their effects on mineral nitrogen transformation in soil. *Geoderma*, 307, 30–37 [in English].
6. Paula, F.S., Tatti, E., Abram, F. et al. (2017). Stabilisation of spent mushroom substrate for application as a plant growth-promoting organic amendment. *Journal of Environmental Management*, 196, 476–486 [in English].
7. Owaed, M.N., Abed, I.A. & Al-Saeedi, S.S.S. (2017). Applicable properties of the bio-fertilizer spent mushroom substrate in organic systems as a byproduct from the cultivation of *Pleurotus* spp. *Information Processing in Agriculture*, 4 (1), 78–82 [in English].
8. Xiao, Z., Lin, M., Fan, J. et al. (2017). Anaerobic digestion of spent mushroom substrate under thermophilic conditions: performance and microbial community analysis. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102 (1), 499–507 [in English].
9. Meng, X., Dai, J., Zhang, Y. et al. (2018). Composted biogas residue and spent mushroom substrate as a growth medium for tomato and pepper seedlings. *Journal of Environmental Management*, 216, 62–69 [in English].
10. Gobbi, V., Nicoletto, C., Zanin, G. & Sambo, P. (2018). Specific humus systems from mushrooms culture. *Applied Soil Ecology*, 123, 709–713 [in English].
11. Mensah, D.L.N., Duponnois, R., Bourillon, J. et al. (2018). Biochemical characterization and efficacy of *Pleurotus*, *Lentinus* and *Ganoderma* parent and hybrid mushroom strains as biofertilizers of attapulgitic for wheat and tomato growth. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 16, 63–72 [in English].
12. Wang, H.-W., Xu, M., Cai, X.-Y. et al. (2020). Application of spent mushroom substrate suppresses *Fusarium* wilt in cucumber and alters the composition of the microbial community of the cucumber rhizosphere. *European Journal of Soil Biology*, 101, 103245 [in English].
13. Volkohon, V.V., Nadkernychna, O.V. & Tokmakova, L.M. (2010). *Eksperymentalna gruntova mikrobiologhiia: monohrafiia [Experimental soil microbiology: monograph]*. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
14. Demyanyuk, O.S., Symochko, L.Yu. & Tertychna, O.V. (2017). Suchasni metodychni pidkhydy do otsiniuvannia ekolohichnoho stanu gruntu za aktyvnosti mikrobiotsenozu [Modern methodical approaches to evaluation of the ecological condition of soil by microbial activity]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii — Problems of bioindication and ecology*, 22 (1), 55–68 [in Ukrainian].
15. Sherstoboieva, O.V., Demyanyuk, O.S. & Chabaniuk, Ya.V. (2017). Biodiagnostyka i biobezpeka gruntiv ahroekosystem [Biodiagnosis and biosafety of soils of agroecosystems]. *Ahroekolohichnyy zhurnal — Agroecological journal*, 2, 142–148. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220170> [in Ukrainian].
16. Symochko, L.Yu. & Demyanyuk, O.S. (2018). Mikrobiom gruntu kulturnykh roslyn za riznykh ahrotekhnolohii [Soil microbiome of cultural plants under different agrotechnologies]. *Ahroekolohichnyy zhurnal — Agroecological journal*, 2, 87–92. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2018.157862> [in Ukrainian].
17. Torf i produkty yoho pererobky dlya sil's'koho hospodarstva. Metody vyznachennya obminnoyi ta aktyvnoyi kyslotnosti [Peat and its processing products for agriculture. Methods of determining metabolic and active acidity]. (2016). *DSTU 7882:2015 from 1st June 2016*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
18. Dobryva tverdi ta vapnuvalni materialy. Vyznachennia vmiсту volohy hravimetrychnym metodom. Vysushuvannia za temperatury (105±2)°C [Solid fertilizers

- and liming materials. Determination of moisture content by gravimetric method. Drying at a temperature of $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$. (2006). *DSTU EN 12048:2005 from 1st June 2006*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
19. Yakist gruntu. Vyznachennya zolnosti torfu i torfovo-ho gruntu [Soil quality. Determination of ash content of peat and peat soil]. (2016). *DSTU 7942:2015 from 1st September 2016*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
 20. Dobryva orhanichni. Metody vyznachennia orhanichnoi rechovyny [Organic fertilizers. Methods of determination of organic matter]. (2017). *DSTU 8454:2015 from 1st June 2017*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
 21. Dobryva orhanichni ta orhano-mineralni. Metody vyznachennia sumarnoi masovoi chastky azotu ta masovoi chastky amoniinoho azotu [Organic and organo-mineral fertilizers. Methods of determining the total mass fraction of nitrogen and the mass fraction of ammonium nitrogen]. (2016). *DSTU 7911:2015 from 1st June 2016*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
 22. Dobryva orhanichni. Metod vyznachennia masovoi chastky zahalnoho kaliuu [Organic fertilizers. Method for determining the mass fraction of total potassium]. (2016). *DSTU 7949:2015 from 1st September 2016*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
 23. Dobryva. Metod ekstraktsii fosforu, rozchynnoho v mineralnykh kyslotakh [Fertilizers. Method for extracting phosphorus soluble in mineral acids]. (2016). *DSTU EN 15956:2015 from 1st January 2016*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
 24. Syrovyna i produkty kharchovi. Hotuvannia prob. Mineralizatsiia dlia vyznachennia vmistu toksychnykh elementiv [Raw materials and food products. Preparation of samples. Mineralization to determine the content of toxic elements]. (2015). *DSTU 7670:2014 from 1st June 2015*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 07.06.2023