УДК 579.266:631.461.
61/631.465

© 2022

**МІКРОБІОЛОГІЧНА ДЕСТРУКЦІЯ
ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ
В АГРОЦЕНОЗАХ***Л.М. Токмакова¹, А.О. Тrepач²**кандидати сільськогосподарських наук**Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН**вул. Шевченка, 97, м. Чернігів, 14027, Україна**e-mail: ¹tokmakova_ln@ukr.net, ²alla.trepach@ukr.net*

Надійшла 14.12.2021

Мета. Дослідити мікробіологічні процеси трансформації соломи за інтродукції в агроценози мікроорганізмів — продуцентів целюлазних ферментних комплексів, які відіграють важливу роль у біодеструкції свіжої органічної речовини. **Методи.** Польові — проведення польового дослідження, мікробіологічні — встановлення чисельності целюлозолітичних бактерій, біохімічні — визначення целюлазної, пероксидазної та поліфенолоксидазної активності ґрунту, статистичні — обробка отриманих даних спрямована на виявлення відмінностей між відповідними показниками та оцінкою достовірності таких відмінностей. **Результати.** В умовах тривалого польового дослідження на чорноземі вилугуваному (короткоротаційна сівозміна: пшениця озима — гречка — люпин) досліджено мікробіологічні процеси, які відбуваються за мінералізації 4 т/га соломи. Установлено, що впродовж вегетаційного періоду гречки в ґрунті (1-й рік після внесення соломи пшениці озимої) та люпину (2-й рік після внесення органічних решток) збільшується чисельність целюлозолітичних мікроорганізмів. В агроценозах гречки у варіанті з використанням *Microbacterium* sp. 6634 їх кількість становила 25,6 млн/г ґрунту при значенні на контролі 10,9 млн/г ґрунту. Досліджувані зразки ґрунту з агроценозів люпину також характеризуються значною чисельністю целюлозоруйнівних мікроорганізмів (17,7 млн/г ґрунту за дії *Bacillus* sp. 6658) порівняно з контрольним варіантом (9 млн/г ґрунту). За дії бактерій-деструкторів органічної речовини зростала ферментативна активність ґрунту: целюлазна, пероксидазна та поліфенолоксидазна. Активність целюлази за використання *Bacillus* sp. 6658 та *Pseudomonas* sp. 6650 зросла в 1,5 рази. За впливу інтродукованих в агроценози мікроорганізмів спостерігалось зростання біохімічного коефіцієнта накопичення гумусу за Муромцевим. **Висновки.** Інтродукція в агроценози бактерій — представників родів *Bacillus*, *Microbacterium*, *Pseudomonas* сприяє розвитку в чорноземі вилугуваному мікроорганізмів із целюлозолітичними властивостями та підвищенню целюлазної, пероксидазної і поліфенолоксидазної активності, що є передумовою для посилення процесів мінералізації соломи. Підсилення інтенсивності розкладання свіжої органічної речовини за внесення рослинних решток підтверджується показниками біохімічного коефіцієнта накопичення гумусу за Муромцевим. Досліджувані бактерії є перспективними як біоагенти мікробних препаратів для оптимізації процесів мінералізації — іммобілізації за використання побічної продукції рослинництва.

Ключові слова: целюлозоруйнівні бактерії, трансформація органічних решток, ферменти, чорнозем виплугуваний, пшениця озима, гречка, люпин.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202202-03>

Рослинні залишки сільськогосподарських культур — найважливіший ресурс відтворення органічної речовини і збереження функціональних властивостей ґрунтів в агроценозах, ключовий будівельний блок для стійкості сільськогосподарського виробництва. Вони є основним джерелом вуглецю та інших органічних речовин, які активно трансформуються ґрунтовими мікроорганізмами. Тому поширене внесення соломи як біологічного удобрення та енергетичного матеріалу, який бере участь у процесах ґрунтоутворення [1, 2]. У сучасному аграрному виробництві у світі на першому плані стосовно розв'язання проблеми підвищення родючості ґрунтів технології, які забезпечують повернення поживних речовин у ґрунт за допомогою заорювання рослинних решток і використання біодеструкторів, створених на основі мікроорганізмів, здатних продукувати ферменти, що руйнують лігнін, целюлозу, клітковину, білки рослинних решток [3–6]. Тому нині в багатьох країнах проводять дослідження, спрямовані на створення умов для підсилення процесів мінералізації–гуміфікації рослинних решток.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ґрунтові процеси перетворення органічних і неорганічних сполук пов'язані з життєздатністю мікроорганізмів. Активність мікробіологічних процесів у ґрунті залежить від чисельності різних трофічних груп мікроорганізмів і специфіки функціональних зв'язків між ними [7]. Визначення видової різноманітності, чисельності та активності мікроорганізмів ґрунту важливе під час дослідження особливостей деструкції органічної речовини, оскільки розкладання рослинних і тваринних решток, вивільнення та зв'язування елементів живлення відбувається за впливу мікроорганізмів [8, 9]. Зміни в чисельності мікроорганізмів окремих еколого-трофічних груп є індикатором перебігу процесів розкладання органічної речовини ґрунту. Основні показники мікробіологічної активності — ґрунтове «дихання» і ферментативна активність, чисельність і біомаса мікроорганізмів [10, 11].

Дослідження мікробіологічних процесів трансформації органічних речовин у ґрунті, створення умов для підсилення процесів мінералізації свіжої органічної речовини, які сприятимуть підвищенню родючості ґрунтів, є актуальними.

Мета досліджень — вивчити мікробіологічні процеси трансформації рослинних решток соломи за інтродукції в агроценози мікроорганізмів — продуцентів целюлазних ферментних комплексів.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводили в польових умовах 2016–2020 рр. у короткоротаційній сівоzmіні (соя, 2015 р.) — пшениця озима — гречка — люпин) на базі дослідного поля Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН відповідно до загальноприйнятих методик [12]. Після збирання врожаю соломі пшениці озимої сорту Поліська 90 (попередньо подрібнену та рівномірно розподілену на поверхні поля) обприскували суспензіями мікроорганізмів і заробляли в ґрунт дискуванням. Дослідження особливостей процесів мінералізації–гуміфікації в ґрунті проводили в 1-й рік після застосування решток соломи (за вирощування гречки сорту Ювілейна) та у 2-й (люпин сорту Щедрий).

Варіанти досліду: 1. Без унесення рослинних решток, контроль. 2. Солома, 4 т/га — фон. 3. Фон + *Bacillus* sp. 6605. 4. Фон + *Microbacterium* sp. 6634. 5. Фон + *Pseudomonas* sp. 6650. 6. Фон + *Bacillus* sp. 6658.

Штами бактерій нами було селекціоновано раніше за ознакою високої целюлозолітичної активності. Дизайн польового досліду передбачав його розміщення не лише в часі, а й у просторі, що дало змогу досліджувати інтенсивність деструкції органічної речовини в 1- і 2-й роки після її внесення не одноразово, а системно, тому отримані результати є 3-річними.

Площа дослідної ділянки — 50,4 м², повторність досліду — 3-разова.

Ґрунтові зразки відбирали в основні фази органогенезу гречки та люпину:

гілкування, цвітіння, досягання плодів. У динаміці проводили облік чисельності бактерій-амоніфікаторів при висіванні ґрунтових розведень на м'ясо-пептонний агар (МПА) та кількості мікроорганізмів, здатних використовувати мінеральні форми азоту на крохмально-аміачному агарі (КАА) [13], целюлозоруйнівні бактерії підраховували на середовищі Гетчинсона-Клейптона [14], целюлазну активність ґрунту визначали за методом Кислициної, пероксидазну та поліфенолоксидазну активність — за Карягіною та Михайловською [15], коефіцієнт мінералізації та іммобілізації Мішустіна розраховували за співвідношенням кількості мікроорганізмів, які засвоюють мінеральний та органічний азот [16], біохімічний коефіцієнт накопичення гумусу за Муромцевим визначали за співвідношенням показників поліфенолоксидазної активності ґрунту і пероксидазної активності [17].

Статистичну обробку отриманих даних проводили за допомогою комп'ютерних програм Microsoft Excel та Origin 8. Різницю середніх показників вважали вірогідною за рівня значущості $P < 0,05$.

Результати досліджень. Функціонально й анатомічно невід'ємним компонентом ґрунту є біотична складова, яку розглядають у цілісності взаємодій і впливів, що дає змогу отримати інтегральну оцінку біологічного стану ґрунту. Важливим показником функціонування ґрунту є діяльність мікроорганізмів, які здійснюють безперервний процес трансформації органічної речовини [18].

Результати проведених мікробіологічних досліджень ґрунту під посівами гречки у фазі цвітіння показали, що чисельність мікроорганізмів, які засвоюють азот органічних сполук, варіювала з 10,1 млн/г ґрунту (у контрольному варіанті без соломи) до 25,6 млн/г ґрунту за дії *Bacillus sp.* 6605. Чисельність амілолітичної мікрофлори, яка бере участь у розкладанні безазотистих сполук у ґрунті і забезпечує іммобілізацію азоту, була дещо більшою — 16,1 млн/г ґрунту на контролі та 31,6 млн/г ґрунту у варіанті солома + *Bacillus sp.* 6658. Коефіцієнт мінералізації–іммобілізації в ґрунті контрольного варіанта без унесення соломи пшениці озимої був у межах 1,2–1,5–1,2 упродовж вегетаційного періоду гречки.

Процеси мінералізації–іммобілізації інтенсивніше відбувалися за дії активних штамів целюлозоруйнівних мікроорганізмів ($K_{m-i} = 1,5-2,2-2,4$). В умовах агроценозів значення коефіцієнта Мішустіна показує темпи біохімічної трансформації органічної речовини в ґрунті.

Чисельність целюлозоруйнівних бактерій у ґрунті була найвищою за інтродукції в агроценози *Microbacterium sp.* 6634 і становила 25,6 млн/г ґрунту при значенні на контролі 10,9 млн/г ґрунту, що свідчить про активні процеси деструкції органічної речовини (рис. 1).

У 2018 р. чисельність мікроорганізмів визначали за вирощування люпину (умови 2-го року після внесення соломи пшениці озимої). Спостерігалось збільшення чисельності амоніфікувальних мікроорганізмів за впливу бактерій-деструкторів органічної речовини з 8,1 млн/г ґрунту (на контролі) до 13,5 млн/г ґрунту за дії *Microbacterium sp.* 6634. Кількість амілолітичних мікроорганізмів також зростала і становила за дії *Bacillus sp.* 6605 — 30,2 млн/г ґрунту за контрольних значень на рівні 12,7 млн/г ґрунту. Коефіцієнт мінералізації–іммобілізації варіював з 2,1 до 2,4 за дії *Bacillus sp.* 6658, у контрольному варіанті значення цього показника були найнижчими — 0,9–1,4 і свідчили про врівноваженість процесів мінералізації та іммобілізації.

Досліджувані зразки ґрунту з агроценозів люпину характеризуються значною чисельністю целюлозоруйнівних мікроорганізмів (17,7 млн/г ґрунту за дії *Bacillus sp.* 6658) у дослідних варіантах з унесенням соломи пшениці озимої (рис. 2). Незначну чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів спостерігали в контрольному варіанті (9 млн/г ґрунту), що зумовлено недостатністю вмісту органічних рослинних решток.

Целюлозні бактерії, розкладаючи рослинні рештки, виділяють у середовище окислювальні ферменти, які беруть участь у синтезі гумусних речовин із продуктів розкладання цих решток. Ферментативний гідроліз целюлози здійснюється під впливом целюлаз, що продукуються багатьма групами ґрунтового мікробіоценозу. Щодо хімізму дії ферменту целюлази, то вона каталізує гідроліз 1,4-р-глюкоїнових зв'язків

Рис. 1. Чисельність целюлозолітичних бактерій у ризосферному ґрунті рослин гречки сорту Ювілейна: □ — фаза гілкування; ■ — цвітіння; ■ — достигання плодів (для рис. 1, 2)

Рис. 2. Чисельність целюлозолітичних бактерій у ризосферному ґрунті рослин люпини сорту Щедрий (2017 р.)

у целюлозі. Молекула целюлози складається із залишків целобіази, пов'язаних між собою глюкозидними зв'язками у вигляді довгого ланцюга. За ферментативного гідролізу целюлоза спочатку розпадається на молекули целобіази, яка під дією р-глюкозидази (целобіази) розпадається на 2 молекули глюкози [19].

В умовах польового досліді нами встановлено, що впродовж вегетаційного періоду в ґрунті агроценозів гречки за впливу мікроорганізмів-деструкторів органічної речовини активізується целюлазна активність у фазах гілкування рослин з 24 (фон — солома, 4 т/га) до 56 мкг глюкози на 20 г ґрунту (фон + *Bacillus sp.* 6605), цвітіння — з 60 (фон — 4 т/га соломи) до 84 мкг глюкози

на 20 г ґрунту (фон + *Bacillus sp.* 6658), достигання плодів — з 33 до 82 мкг глюкози на 20 г ґрунту (табл. 1).

Обмін речовин і потоків енергії під час розкладання та синтезу органічних решток і перехід важкозасвоюваних сполук поживних речовин у форми, доступні для рослин і мікроорганізмів, відбуваються за безпосередньої участі ферментів — пероксидази та поліфенолоксидази [20], які відіграють важливу роль у процесах гуміфікації, виконують захисну функцію, розкладаючи різні ксенобіотики, беруть участь у багатостадійних процесах розкладання та синтезу органічних сполук ароматичного ряду [21].

На чорноземі вилугуваному у варіантах досліді пероксидазна активність ґрунту

з агроценозів гречки вища за використання мікроорганізмів-деструкторів органічної речовини у фазах: гілкування — з 0,305 (фон) до 0,359 мг 1,4-бензохінону на 1 г ґрунту 30 хв/30°C (фон + *Microbacterium* sp. 6634) та цвітіння — з 0,519 (фон) до 0,580 мг 1,4-бензохінону на 1 г ґрунту 30 хв/30°C (фон + *Bacillus* sp. 6658) (табл. 2).

Поліфенолоксидазна активність ґрунту в агроценозах гречки підвищується у фазах гілкування з 0,51 (фон) до 0,82 мг 1,4-бензохінону на 1 г ґрунту 30 хв/30°C (фон + *Bacillus* sp. 6658) та досягання плодів — з 0,23 (фон) до 0,38 мг 1,4-бензохінону на 1 г ґрунту 30 хв/30°C (фон + *Bacillus* sp. 6658) (табл. 3).

Для оцінки процесу трансформації органічної речовини в ґрунті використовують біохімічний коефіцієнт накопичення гумусу

за Муромцевим, який свідчить про темпи біохімічного утворення та накопичення гумусу.

Дослідженнями виявлено, що показники біохімічного коефіцієнта свідчать про посилення інтенсивності розкладання органічної речовини за внесення соломи, обробленої суспензіями мікроорганізмів порівняно з контрольними варіантами (табл. 4).

Подібні результати отримано в дослідженнях в агроценозі люпину. Пероксидазна активність ґрунту підвищувалася у варіантах за післядії целюлозоруйнівних бактерій, особливо у фазі гілкування — з 0,437 (фон) до 0,531 мг 1,4-бензохінону на 1 г ґрунту 30 хв/30°C (фон + *Pseudomonas* sp. 6650). Поліфенолоксидазна активність ґрунту також є вищою за використання мікроорганізмів-деструкторів органічної

1. Целюлазна активність ґрунту при вирощуванні гречки сорту Ювілейна за впливу целюлозоруйнівних мікроорганізмів (2017 р.)

Варіант дослідю	Целюлазна активність ґрунту, мкг глюкози на 20 г ґрунту		
	Фаза розвитку рослин		
	гілкування	цвітіння	досягання плодів
Без унесення рослинних решток, контроль	24 ± 1,17	60 ± 2,47	33 ± 1,68
Солома, 4 т/га — фон	36 ± 0,72	55 ± 1,65	53 ± 2,20
Фон + <i>Bacillus</i> sp. 6605	56 ± 2,49	79 ± 2,92	72 ± 2,38
Фон + <i>Microbacterium</i> sp. 6634	44 ± 2,52	59 ± 1,94	77 ± 2,44
Фон + <i>Pseudomonas</i> sp. 6650	33 ± 1,57	80 ± 2,23	66 ± 1,73
Фон + <i>Bacillus</i> sp. 6658	40 ± 1,82	84 ± 1,70	82 ± 3,23

2. Пероксидазна активність ґрунту при вирощуванні гречки сорту Ювілейна за впливу целюлозоруйнівних мікроорганізмів (2017 р.)

Варіант дослідю	Пероксидазна активність ґрунту за вирощування гречки (мг 1,4-бензохінону на 1 г ґрунту 30 хв/30°C)		
	Фаза розвитку рослин		
	гілкування	цвітіння	досягання плодів
Без унесення рослинних решток, контроль	0,305 ± 0,005	0,519 ± 0,008	0,399 ± 0,005
Солома, 4 т/га — фон	0,254 ± 0,006	0,475 ± 0,007	0,373 ± 0,006
Фон + <i>Bacillus</i> sp. 6605	0,340 ± 0,014	0,457 ± 0,006	0,356 ± 0,008
Фон + <i>Microbacterium</i> sp. 6634	0,359 ± 0,011	0,523 ± 0,006	0,373 ± 0,007
Фон + <i>Pseudomonas</i> sp. 6650	0,356 ± 0,011	0,480 ± 0,006	0,360 ± 0,006
Фон + <i>Bacillus</i> sp. 6658	0,281 ± 0,007	0,580 ± 0,012	0,382 ± 0,005

3. Поліфенолоксидазна активність ґрунту при вирощуванні гречки сорту Ювілейна за впливу целюлозоруйнівних мікроорганізмів (2017 р.)

Варіант досліджу	Поліфенолоксидазна активність ґрунту за вирощування гречки (мг 1,4-бензохінону на 1 г ґрунту 30 хв/30°C)		
	Фаза розвитку рослин		
	гілкування	цвітіння	достигання плодів
Без унесення рослинних решток, контроль	0,51±0,03	0,23±0,01	0,29±0,01
Солома, 4 т/га — фон	0,66±0,02	0,36±0,02	0,28±0,01
Фон + <i>Bacillus</i> sp. 6605	0,73±0,02	0,33±0,01	0,34±0,01
Фон + <i>Microbacterium</i> sp. 6634	0,64±0,01	0,34±0,01	0,29±0,01
Фон + <i>Pseudomonas</i> sp. 6650	0,61±0,02	0,34±0,02	0,33±0,02
Фон + <i>Bacillus</i> sp. 6658	0,82±0,04	0,38±0,01	0,34±0,02

4. Біохімічний коефіцієнт накопичення гумусу за Муромцевим у чорноземі вилугуваному при вирощуванні гречки сорту Ювілейна (2017 р.)

Варіант досліджу	Коефіцієнт накопичення гумусу, %		
	Фаза розвитку рослин		
	гілкування	цвітіння	достигання плодів
Без унесення рослинних решток, контроль	2,02	1,03	0,91
Солома, 4 т/га — фон	2,04	1,38	0,81
Фон + <i>Bacillus</i> sp. 6605	2,48	1,18	1,04
Фон + <i>Microbacterium</i> sp. 6634	1,79	1,10	0,98
Фон + <i>Pseudomonas</i> sp. 6650	1,61	1,30	0,99
Фон + <i>Bacillus</i> sp. 6658	2,34	1,04	1,00

речовини (післядії). Показники біохімічного коефіцієнта накопичення гумусу свідчать про підсилення інтенсивності розкладання

соломи за впливу целюлозоруйнівних бактерій родів *Bacillus*, *Microbacterium*, *Pseudomonas*.

Висновки

За впливу представників родів *Bacillus*, *Microbacterium*, *Pseudomonas* — деструкторів рослинних решток, мікробіологічні процеси мінералізації соломи в чорноземі вилугуваному за вирощування гречки (1-й рік після внесення рослинних решток) та люпину (2-й рік після внесення рослинних решток) свідчать про збільшення чисельності целюлозолітичних мікроорганізмів щодо контролю, при цьому зростає целюлазна, пероксидазна

та поліфенолоксидазна активності. Показники біохімічного коефіцієнта накопичення гумусу за Муромцевим свідчать про підсилення інтенсивності розкладання органічної речовини за внесення соломи порівняно з контролем. Зазначені мікроорганізми є перспективними для розроблення мікробного препарату, призначеного для оптимізації процесів мінералізації—імобілізації за використання побічної продукції рослинництва.

Tokmakova L.¹, Trepach A.²

Institute of Agricultural Microbiology and Agroindustrial Production of NAAS, 97 Shevchenko Str., Chernihiv, 14027, Ukraine; e-mail: ¹tokmakova_ln@ukr.net, ²alla.trepach@ukr.net

Microbiological destruction of organic substance in agrocenoses

Goal. To study the microbiological processes of straw transformation during introduction into agrocenoses of microorganisms — producers of cellulase enzyme complexes, which play an important role in the biodegradation of fresh organic matter.

Methods. Field — to carry out field experiment, microbiological — to determine the quantity of cellosolytic bacteria, biochemical — to determine the cellulase, peroxidase, and polyphenol oxidase activity of the soil, statistical — to identify differences between relevant indicators and assessment of the reliability of such differences. **Results.** In the conditions of a long-term field experiment on leached chernozem (short-term crop rotation: winter wheat — buckwheat — lupine), microbiological processes that occur during the mineralization of 4 t/ha of straw were studied. It was found that during the growing season buckwheat in the soil (the 1-st year after the introduction of winter wheat straw) and lupine (the 2-nd year after the introduction of organic residues) increased the number of cellosolytic microorganisms. In buckwheat agrocenoses in the variant with *Microbacterium* sp. 6634 their quantity amounted to 25.6 million/g of soil with a value of 10.9 million/g of soil under control. The studied soil

samples from lupine agrocenoses were also characterized by a significant number of cellulose-destructive microorganisms (17.7 million/g of soil under the action of *Bacillus* sp. 6658) compared to the control variant (9 million/g of soil). Under the action of bacterial destructors of organic matter, they observed increased enzymatic activity of soil (cellulase, peroxidase, and polyphenol oxidase). Cellulase activity at the use of *Bacillus* sp. 6658 and *Pseudomonas* sp. 6650 increased 1.5 times. Under the influence of microorganisms introduced into agrocenoses, an increase in the biochemical coefficient of humus accumulation according to Muromtsev's methodology was observed. **Conclusions.** Introduction into the agrocenosis of bacteria — members of the genera *Bacillus*, *Microbacterium*, *Pseudomonas* promoted the development of leached chernozem microorganisms with cellosolytic properties and increased cellulase, peroxidase, and polyphenol oxidase activity, which was a prerequisite for strengthening the mineralization of straw. The increase in the intensity of decomposition of fresh organic matter with the introduction of plant residues was confirmed by indicators of the biochemical coefficient of humus accumulation according to Muromtsev's methodology. The studied bacteria are promising as bioagents of microbial preparations to optimize the processes of mineralization-immobilization using plant by-products.

Key words: cellulose-destructing bacteria, transformation of organic residues, enzymes, leached chernozem, winter wheat, buckwheat, lupine.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202202-03>

Бібліографія

1. *Jacinto P.A., Lal R., Kimble J.M.* Effects of Wheat Residue Fertilization on Accumulation and Biochemical Attributes of Organic Carbon in A Central Ohio Luvisol. *Soil Sci.* 2002. V. 167. I. 11. P. 750–758.

2. *Пат. 144123* Україна, МПК А01С 21/00. Спосіб підвищення урожайності кукурудзи на зерно за використання деструкції соломи. Лукашук Л.Я., Фурманець М.Г., Маркарян В.В., Коломієць О.В. № 1019 12115; заявл. 21.12.2019; опубл. 10.09.2020. Бюл. № 17. 2 с.

3. *Lal R.* The Role of Residues Management in Sustainable Agricultural Systems. *J. of Sustainable Agriculture*. 1995. V. 5. I. 4. P. 51–78.

4. *Zhang Q., Yang Z., Wu W.* Role of Crop Residue Management in Sustainable Agricultural Development in the North China Plain. *J. of Sustainable Agriculture*. 2008. V. 32. I. 1. P. 137–148.

5. *Пат. 143302* Україна, МПК С12Н 1/00 С12Н 9/14 С12Н 9/42 С12Н 9/58. *Fennellia flavipes* imb f-100112 — продуцент ферментного комплексу

з целюлазою і ксиланазною активностями. Курченко І.М., Сирчін С.О., Павличенко А.К., Юр'єва О.М., Наконечна Л.Т. № 1019 11904; заявл. 13.12.2019; опубл. 27.07.2020. Бюл. № 14. 5 с.

6. *Пат. 121555* Україна, МПК С12Н 1/14 С12Н 9/42. Штам гриба *Trichoderma viride* з високою целюлозолітичною активністю. Копилов Є.П., Надкерничний С.П.; заявник і патентовласник Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України. № 1017 05934; заявл. 14.06.2017; опубл. 11.12.2017. Бюл. № 23. 6 с.

7. *Звягинцев Д.Г.* Почва і мікроорганізми. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 256 с.

8. *Bardgett R.D.* The biology soil. A community and ecosystem approach. Oxford University Press, 2005. 242 p.

9. *Сидякіна О.В.* Ефективність біодеструкторів у сучасних агротехнологіях (огляд літератури).

Таврійський науковий вісник. 2021. № 119. С. 123–129.

10. Тарасов С.А., Шершнева О.М. Использование микробиологических препаратов для ускорения деструкции соломы. *Вестник Курской ГСХА.* 2014. № 6. С. 41–45.

11. Домарацький Є., Базалій В., Козлова О., Домарацький О. Ефективність використання деструкторів целюлози для оптимізації факторів життя рослин соняшнику. *Техніка і технології АПК.* 2020. № 1. С. 18–21.

12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Колос, 1979. 416 с.

13. Волкогон В.В., Надкернична О.В., Томакова Л.М. та ін. Експериментальна ґрунтова мікробіологія: монографія; за ред. В.В. Волкогона. Київ: Аграрна наука, 2010. 464 с.

14. Лабутова Н.М. Методы изучения почвообитающих микроорганизмов: учебное пособие. Изд. СПбГУ, 2008. 48 с.

15. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. Москва: Наука, 2005. 252 с.

16. Терещенко Н.Н., Акимова Е.Е., Минаева О.М. Практикум по микробиологии для оценки плодородия почвы и качества почвы: учеб.-метод. пособие для студентов биологических специальностей. Томск: ТГУ, 2011. 96 с.

17. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: науч.-метод. пособие. Нижегородская с.-х. академия. Нижний Новгород, 2012. 64 с.

18. Bardgett R.D. The biology of soil. A community and ecosystem approach. Oxford University Press, 2005. 242 p.

19. Хазиев Ф.Х. Почвенные ферменты. Москва: Знание, 1990. 189 с.

20. Гулько А.Е., Хазиев Ф.Х. Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность. *Почвоведение.* 1992. № 11. С. 55–67.

21. Раськова Н.В. Активность и свойства пероксидазы и полифенолоксидазы в дерново-подзолистых почвах под лесными биоценозами. *Почвоведение.* 1995. № 11. С. 1363–1368.