

## ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМПЛЕКСНОГО МІКРОБНОГО ПРЕПАРАТУ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ВІВСА ТА ЯЧМЕНЮ ЯРОГО

А.С. Левішко<sup>1</sup>, І.І. Гуменюк<sup>1</sup>, Є.Д. Ткач<sup>1</sup>, Ю.В.Терновий<sup>2</sup>, Ю.А. Кравчук<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: [alodua2@gmail.com](mailto:alodua2@gmail.com); ORCID: 0000-0003-4037-1730

e-mail: [gumenyuk.ir@gmail.com](mailto:gumenyuk.ir@gmail.com); ORCID: 0000-0002-6692-0171

e-mail: [bio\\_eco@ukr.net](mailto:bio_eco@ukr.net); ORCID: 0000-0002-0666-1956

<sup>2</sup> Сквирська дослідна станція органічного виробництва ІАП НААН

(м. Сквиря, Київська обл., Україна)

e-mail: [ternowoj@i.ua](mailto:ternowoj@i.ua); ORCID: 0000-0002-5829-5089

e-mail: [doslidna\\_skvira@meta.ua](mailto:doslidna_skvira@meta.ua); ORCID: 0009-0003-6878-7700

Продовольчі та кормові культури як-от овес і ячмінь є широко використовуваними та мають зростаючий попит у сучасному світі, тому володіють високим потенціалом. Одним із способів підвищення ефективності зернової галузі, які потребує зерновиробництво, є застосування ефективних біопрепаратів на основі мікроорганізмів. Метою цього дослідження було оцінити ефективність обробки рослин вівса та ячменю ярого в період вегетації комплексним мікробним препаратом на основі перспективних штамів *Azotobacter vinelandii* 7 AI, *Azotobacter chroococcum* 8 AI і *Bacillus megaterium* 39 AI, виділених у лабораторії екології мікроорганізмів відділу агроекології і біобезпеки раніше. Польові випробування здійснювали на дослідних полях Сквирської дослідної станції органічного виробництва Інституту агроекології і природокористування НААН. Для обробки рослин зернових культур у період вегетації використовували вище вказані штами мікроорганізмів, так і їх суміші. Проведено вивчення впливу сумішей мікроорганізмів: *A. vinelandii* 7 AI + *A. chroococcum* 8 AI та *A. vinelandii* 7 AI + *A. chroococcum* 8 AI + *B. megaterium* 39 AI на ростові показники рослин. Встановлено позитивний вплив обробки рослин не лише на кількість отриманого врожаю, але й на його якість. Результати досліджень свідчать про ефективність застосування комплексного мікробного препарату на основі запропонованих штамів мікроорганізмів для таких зернових культурах, як овес та ячмінь ярий. Обробка рослин досліджуваним препаратом сприяла покращенню ростових процесів, а також збільшенню кількості фотосинтетичних пігментів. Це водночас активізувало їх розвиток та підвищувало продуктивність, поліпшуючи якісні показники зерна. Запропонований мікробний комплекс (*A. vinelandii* 7 AI + *A. chroococcum* 8 AI + *B. megaterium* 39 AI) зарекомендував себе як ефективний для обробки зернових культур у фізіологічно важливі фази (початок кущення; вихід у трубку; початок колосіння) розвитку культур. Проведені дослідження дають можливість пропонувати його для використання в еколого-безпечних, органічних технологіях вирощування культур.

**Ключові слова:** зернові культури, біопрепарат, *Azotobacter vinelandii*, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium*, фотосинтетичні пігменти.

### ВСТУП

На сьогодні одним із головних завдань сільського господарства є збільшення виробництва зерна та його рентабельності за умов зниження застосування хімічних препаратів. Вирішення цього питання є основою задоволення потреби людства в якісних та недорогих харчових продуктах.

Тому найкращою альтернативою хімічним пестицидам можуть стати біопрепарати. Вони сприятимуть зменшенню хімічного навантаження на навколишнє природне середовище та одержанню врожаю високої якості. Одним із завдань для науковців є ретельно відібрати та збалансовано поєднати мікроорганізми, які в майбутньому можуть стати основою препарату, здатного задовольнити потреби рослин, особливо

під час впливу стресових чинників. Такі препарати є дієвим способом підвищення ефективності вирощування сільськогосподарських культур, як-от ячмінь та овес. Використання цих препаратів на основі комплексу перспективних штамів дає змогу регулювати найважливіші фізіологічні процеси в рослинних організмах, які впливають на зростання врожайності та поліпшення якості продукції. Тому, нами було поставлено **за мету** вивчити у польових умовах, ефективність обробки рослин вівса та ячменю ярого в період вегетації комплексним мікробіологічним препаратом на основі перспективних штамів *Bacillus* і *Azotobacter*.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

До найпоширеніших сільськогосподарських культур, що вирощуються як в українському, так і у світовому землеробстві належать ячмінь та овес. Це цінні продовольчі і кормові культури, які повсюдно використовуються та мають зростаючий попит у сучасному світі й вважаються високопотенційними [1].

На жаль, у нашій країні середня врожайність зернових культур, особливо вівса, залишається доволі низькою порівняно з іншими європейськими країнами [2]. Тому підвищення врожайності та якості зернових культур, у т. ч. вівса і ячменю ярого, є основним завданням сільського господарства. Для цього необхідно враховувати такі чинники, як сорт, ґрунтово-кліматичні умови та технологію вирощування [3]. Саме вдало підібрана технологія вирощування, яка залежить від особливостей культури, ґрунтово-кліматичних умов та організаційно-господарських можливостей може стати ключем до отримання сталого, високого й якісного врожаю. Враховуючи надмірне застосування хімічних препаратів, дедалі більшого значення набувають науково-технічні розробки, спрямовані на пошук біологічних препаратів, здатних зберегти рівень урожайності та забезпечити отримання екологічно безпечної продукції зі зменшеною собівартістю [4].

Більшість біопрепаратів створюються переважно для обробки насіння. Вони відомі своєю безпечністю, відсутністю побічних ефектів, відносно простою технологією та спроможністю покращувати структуру ґрунту й підвищувати врожайність сільськогосподарських культур [5].

Досить мало уваги надається розробці препаратів для обробки рослин під час вегетації, адже саме в цей період відбувається найбільш інтенсивне використання хімічних речовин для покращання ростових процесів рослин і їхнього захисту від хвороб та шкідників [6].

Саме в цьому напрямі існує значний потенціал використання препаратів на основі бактерій, які здатні до синтезу вітамінів, як-от тіамін та рибофлавін, рослинних гормонів — гетероауксинів, гіберелінів і цитокінінів, а також таких, що містять 1-аміноциклопропан-1-карбоксилат деаміназу. Представники родів *Bacillus* та *Azotobacter* синтезують вище перелічені речовини, завдяки чому й привертають увагу дослідників за створення біопрепаратів [7–10]. Тому лабораторією екології мікроорганізмів відділу агроєкології і біобезпеки Інституту агроєкології і природокористування НААН було виділено мікроорганізми представники родів *Bacillus* і *Azotobacter*, що здатні до синтезу низки біологічно активних речовин, які позитивно впливали на ріст і розвиток рослин. Вони можуть бути перспективною основою для створення ефективного біологічного препарату для обробки рослин сільськогосподарських культур у період вегетації [11; 12].

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Польові випробування проводили на дослідних полях Сквирської дослідної станції органічного виробництва Інституту агроєкології і природокористування НААН упродовж 2022 р. Ці поля розташовані в геоморфологічному районі Придніпровського плато в підрайоні «б» першого агрокліматичного району Київської обл. Тип ґрунту дослідних полів — чорнозем типовий малогумусний крупнопилувато-

Таблиця 1. Фізико-хімічні властивості ґрунту СДСОВ ІАП НААН

Фізико-хімічні показники		Значення
Горизонт		30–40
Гумус, %		3,0
рН		5,2
Вибрані основи, мг-екв / 100 г ґрунту	Ca	16,8
	Mg	2,4
Гідролітична кислотність, мг-екв/100 г ґрунту		2,16
Ступінь насичення ґрунту основами, %		98,5
Рухомий фосфор, мг/кг		147
Обмінний калій, мг/кг		152

середньосуглинковий (табл. 1). Вміст гумусу в верхньому шарі ґрунту (0–20 см) сягає 3,0%, легкогідролізованого азоту – 6,6 мг, рухомого фосфору – 147 мг/кг і обмінного калію – 152 мг/кг. Реакція ґрунтового розчину слабкокисла (рН = 5,2).

У роботі використовували такі сільськогосподарські культури:

- овес сорт Парламентський;
- ячмінь ярий сорт Себастьян.

Для обробки рослин використовували штами *Azotobacter vinelandii* 7 AI, *Azotobacter chroococcum* 8 AI і *Bacillus megaterium* 39 AI, виділені в 2020 р. Посів рослин проводили на глибину 3–5 см із розрахунку 100 кг/га, ширина міжрядь – 45 см. Повторність дослідів – триразова, облікова площа ділянок 25 м<sup>2</sup>. Обробку рослин здійснювали у такі фізіологічно важливі фази культур:

I обробка – початок кущення; II обробка – вихід у трубку; III відбір – початок

колосіння (фаза викидання). Схему обробки рослин препаратами на основі вищезгаданих мікроорганізмів відображено у табл. 2.

Культури бактерій *A. vinelandii* 7 AI та *A. chroococcum* 8 AI вирощували на середовищі Ешбі протягом 4–5 діб за 26–28°C. Титр бактерій за обробки становив 10<sup>8</sup>–10<sup>9</sup> кл/мл.

Культуру бактерій *B. megaterium* 39 AI вирощували на середовищі такого складу (г/л): м'ясний екстракт – 5,0; пептон – 10,0; NaCl – 5,0; рН=7,0. Титр бактерій при обробці сягав 10<sup>10</sup>–10<sup>11</sup> кл/мл.

Визначення вмісту хлорофілів у рослинах здійснювали спектрофотометричним методом (спектрофотометр Ulab 102 UV). Використані довжини хвиль для хлорофілу *a* – λ=665 нм та для хлорофілу *b* – λ=649 нм.

Розчином порівняння був 96% етанол [13].

Таблиця 2. Схема обробки рослин комплексним мікробним біопрепаратом

№	Варіант обробки	Норма внесення
1	Контроль (вода)	л/га
2	<i>A. vinelandii</i> 7 AI	
3	<i>A. chroococcum</i> 8 AI	
4	<i>B. megaterium</i> 39 AI	
5	<i>A. vinelandii</i> 7 AI + <i>A. chroococcum</i> 8 AI	
6	<i>A. vinelandii</i> 7 AI + <i>A. chroococcum</i> 8 AI + <i>B. megaterium</i> 39 AI	

Усі досліді проводили в триразовому біологічному та п'ятиразовому аналітичному повторенні. Статистичну обробку експериментальних даних розраховували із використанням стандартних комп'ютерних програм Statistica 10 та Excel 2016.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Обов'язковою частиною перевірки ефективності комплексного мікробіологічного препарату є дослідження його впливу на рослини як мікроорганізмів у монокультури, так і їх синергетичної дії. Це пов'язано зі здатністю мікроорганізмів змінювати продукти синтезу в присутності інших мікроорганізмів або речовин, які вони можуть виділяти, завдяки чому підсилювати чи послаблювати певні ефекти їх впливу. Тому, як було раніше зазначено в *табл. 2*, нами було обрано для досліду як окремі штами мікроорганізмів, так і суміш на їх основі. Після обробки рослин вівса та ячменю ярого цими розчинами в критичні для їх росту фази (початок кущення; вихід у трубку; початок колосіння), передусім було проведено дослідження їх впливу на ростові показники (кількість продуктивних стебел, висота рослин).

Ростові процеси всіх сільськогосподарських культур є досить важливими із точки зору формування надземної маси та

максимальної продуктивності. Найбільш помітними показниками для врожайності колосових зернових є кількість продуктивних стебел на одиницю площі. Також відомо, що врожайність рослин певною мірою залежить від висоти рослин, що часто відображає біологічну закономірність, пов'язану із тривалістю вегетаційного періоду. Це може слугувати побічним показником урожайності загальної біомаси рослин та фотосинтетичного потенціалу.

Так, аналіз зазначених показників рослин вівса та ячменю ярого за умов обробки як окремими мікроорганізмами, так і їх сумішами, засвідчив загальний позитивний вплив на ростові показники рослин (*табл. 3*).

Найкращий ефект від обробки спостерігався за умов використання суміші всіх обраних для досліду штамів *A. vinelandii* 7 AI + *A. chroococcum* 8 AI + *B. megaterium* 39 AI. Водночас обробка кожним окремо вибраним штамом, незалежно від його видової приналежності, впливає на рослини майже однаково, збільшуючи як висоту рослин, так і кількість продуктивних стебел приблизно на 2–4%. Обробка комплексом бактерій *A. vinelandii* 7 AI + *A. chroococcum* 8 AI + *B. megaterium* 39 AI здатна покращувати найважливіші ростові показники досліджених рослин до 9%.

Таблиця 3. Вплив обробки штамів агрономічно корисних мікроорганізмів та їх композицій на ростові показники вівса та ячменю ярого

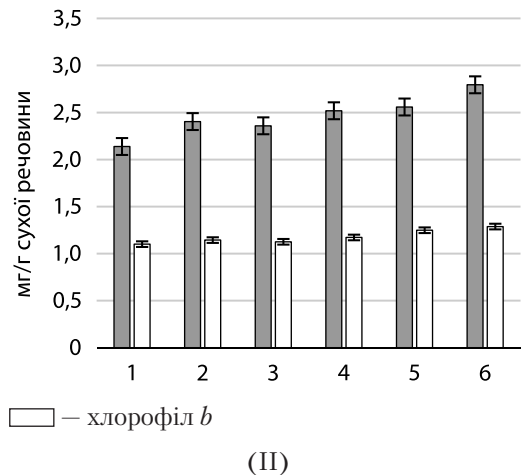
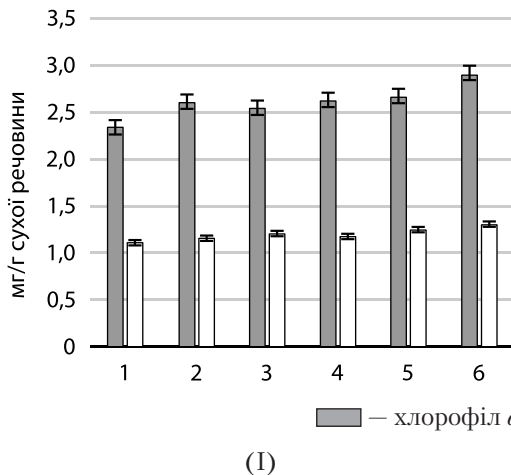
Варіант	Овес		Ячмінь ярий	
	продуктивних стебел, шт./м <sup>2</sup>	висота рослин, см	продуктивних стебел, шт./м <sup>2</sup>	висота рослин, см
Контроль (вода)	551,8±22,1	100,7±9,5	657,8±26,4	65,4±4,5
<i>A. vinelandii</i> 7 AI	573,1±13,6	104,5±4,8	677,1±31,2	66,7±5,3
<i>A. chroococcum</i> 8 AI	567,4±23,1	104,9±5,6	669,4±24,9	66,6±7,1
<i>B. megaterium</i> 39 AI	565,3±18,9	102,5±9,1	665,4±28,2	65,2±3,6
<i>A. vinelandii</i> 7 AI + <i>A. chroococcum</i> 8 AI	581,2±25,3	109,4±6,8	689,5±31,7	69,4±6,2
<i>A. vinelandii</i> 7 AI + <i>A. chroococcum</i> 8 AI + <i>B. megaterium</i> 39 AI	596,4±14,7	109,8±3,7	695,4±23,5	70,1±4,7

Отже, встановлено, що обробка рослин під час вегетації, як монокультурами використаних мікроорганізмів, так і їх сумішами, здатна поліпшувати важливі ростові показники рослин вівсу та ячменю ярого. Однак максимально ефективною виявилася обробка комплексом досліджуваних бактерій (*A. vinelandii* 7 AI + *A. chroococcum* 8 AI + *B. megaterium* 39 AI).

Серед чинників, що визначають продуктивність рослин провідна роль належить фотосинтезу, завдяки якому відбувається накопичення основних пластичних речовин, необхідних для їх росту й розвитку. Одним із найбільш важливих елементів цього процесу для будь-якої рослини є достатня кількість активних фотосинтетичних одиниць, спроможних забезпечити його нормальне функціонування. Здійснюючи регулярний огляд дослідних полів було відзначено більш інтенсивне забарвлення деяких варіантів оброблених рослин. Тому визначено вміст хлорофілу *a* та *b* у листках опрацьованих культур для підтвердження гіпотези про вплив обробки рослин досліджуваними мікроорганізмами на здатність збільшувати фотосинтетичні пігменти. За даними, представленими на *рис.*, спостерігаємо посилення вмісту

хлорофілу *a* в обох досліджених рослин. Також, треба відмітити, що обидві рослини демонстрували найвищий рівень хлорофілу *a* за обробки сумішшю мікроорганізмів *A. vinelandii* 7 AI + *A. chroococcum* 8 AI + *B. megaterium* 39 AI. Теоретично, це має прямий вплив на продуктивність рослин, завдяки тому, що фотосинтез є важливою ланкою для утворення органічних речовин. Загалом, саме хлорофіл *a* вважається універсальним пігментом, що визначає напрям і швидкість фотосинтезу в рослині. Тобто, обробка комплексним мікробним препаратом здатна збільшувати кількість утвореного хлорофілу *a* в досліджених рослинах, що в майбутньому зумовить підвищення їх продуктивності.

При аналізі основних елементів ефективності обробки рослин виявлено зміни і у якісних показниках рослин вівса та ячменю ярого. За результатами дослідження, наведеними в *табл. 4*, з'ясовано, що на масу 1000 зерен найкращий вплив мала обробка монокультурою *A. vinelandii* 7 AI та обома використаними сумішами бактерій. Так, наприклад, обробка рослин як вівса, так і ячменю ярого, сумішшю із трьох штамів збільшувала масу 1000 зерен майже на 9%.



Вплив обробки по вегетації штамми мікроорганізмів та їх сумішей на вміст пігментів у листках вівса (I) та ячменю ярого (II): 1. Контроль (вода); 2. *A. vinelandii* 7 AI; 3. *A. chroococcum* 8 AI; 4. *B. megaterium* 39 AI; 5. *A. vinelandii* 7 AI + *A. chroococcum* 8 AI; 6. *A. vinelandii* 7 AI + *A. chroococcum* 8 AI + *B. megaterium* 39 AI

Таблиця 4. Ефективність обробки рослин вівса та ячменю ярого штамами агрономічно корисних мікроорганізмів

Варіант	Овес			Ячмінь ярий		
	урожайність, ц/га	маса 1000 зерен, г	вміст білка, %	урожайність, ц/га	маса 1000 зерен, г	вміст білка, %
Контроль (вода)	31,9±3,7	36,9±5,1	10,1±0,8	52,4±13,7	47±4,8	9,8±0,32
<i>A. vinelandii</i> 7 AI	34,5±2,5	39,8±4,4	10,4±1,2	56,4±14,2	50±3,9	10,2±0,16
<i>A. chroococcum</i> 8 AI	34,4±4,2	37,6±2,8	10,4±1,7	56,1±13,9	50±5,6	10,1±0,19
<i>B. megaterium</i> 39 AI	33,1±3,6	36,1±5,9	10,3±0,9	54,7±18,2	48±3,2	9,9±0,35
<i>A. vinelandii</i> 7 AI + <i>A. chroococcum</i> 8 AI	34,9±4,3	39,6±4,7	11,8±0,4	56,8±15,4	51±6,4	10,8±0,27
<i>A. vinelandii</i> 7 AI + <i>A. chroococcum</i> 8 AI + <i>B. megaterium</i> 39 AI	35,1±3,2	40,1±3,5	12,1±1,4	57,1±14,6	51±5,3	11,0±0,21

Показано, що максимальний позитивний ефект на вміст білка мала лише обробка комплексом з 3-х бактерій *A. vinelandii* 7 AI + *A. chroococcum* 8 AI + *B. megaterium* 39 AI. Обробка монокультурою, наприклад *A. chroococcum* 8 AI, підвищувала вміст білка від 10,1 до 10,4% для вівса та від 9,8 до 10,1% для ячменю. Застосування комплексу штамів спричинило зростання вмісту білка до 12,1% для вівсу та до 11% для ячменю. Зважаючи на те, що обробка комплексом мікроорганізмів збільшувала висоту рослин та поліпшувала їх фотосинтетичний потенціал, можна стверджувати, що саме синергічна дія цього комплексу стала тригером до спрямування максимального потенціалу рослин на створення якісного врожаю.

Щодо урожайності рослин, слід зазначити, що всі оброблені варіанти, крім *B. megaterium* 39 AI, мали приблизно однаковий рівень урожаю. Так, урожайність вівса за застосування дослідними штамми (окрім вищезгаданого) становила від 34,5 до 35,1 ц/га, і відповідно приріст після обробки, відносно контролю сягав від 8,15

до 10,03%. Урожайність ячменю ярого за вирощування досліджених штамів сягала від 56,1 до 57,1 ц/га, що було більше, ніж на контролі — від 7,06 до 8,97%.

## ВИСНОВКИ

Отримані результати свідчать про ефективність застосування комплексного мікробіологічного препарату на основі штамів — *A. vinelandii* 7 AI, *A. chroococcum* 8 AI, *B. megaterium* 39 AI на таких зернових культурах, як овес та ячмінь ярий. Обробка біопрепаратом (*A. vinelandii* 7 AI + *A. chroococcum* 8 AI + *B. megaterium* 39 AI) рослин сприяє покращанню як ростових, так і фотосинтетичних процесів, що, своєю чергою, активізує їх розвиток, підвищує продуктивність та поліпшує якісні показники зерна. Запропонований мікробний комплекс зарекомендував себе як ефективний для обробки зернових культур у фізіологічно важливі фази розвитку рослин, що дає можливість пропонувати його для використання в еколого-безпечних, органічних технологіях вирощування культур.

## ЛІТЕРАТУРА

- Гамаюнова В.В., Панфілова А.В., Бакланова Т.В. та ін. Збільшення зерновиробництва в зоні Степу України за рахунок вирощування ячменю та оптимізації його живлення. *Наукові горизонти*. 2020. № 2 (87). С. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-15-23>.
- Грицюк Н.В., Бакалова А.В., Рибіцька Г.В. та ін. Ефективність обробки насіння при вирощуванні

- вівса посівного в умовах Лісостепу України. *Наукові горизонти*. 2020. № 08 (93). С. 133–140. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-93-8-133-140.
3. Мосійчук І.І., Безноско І.В., Туровник Ю.А., Горган Т.М. Екологічне обґрунтування регуляції фітопатогенного мікобіому в агроценозах ячменю ярого у екологічно безпечних технологіях. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 2. С. 117–124. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234468>.
  4. Ретьман С.В., Панченко Ю.С. Протруйники для захисту посівів вівса від хвороб у Правобережному Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 3. С. 72–76. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2017.219909>.
  5. Левішко А.С., Гуменюк І.І., Ткач Є.Д. та ін. Ефективність використання нових штамів *Rhizobium* на посівах бобових культур. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 1. С. 136–144. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.257130>.
  6. Теслюк В.В. Концептуальні основи виробництва і застосування мікобіопрепаратів. *Наукові доповіді НУБіП*. 2011. № 7 (23). URL: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2011\\_7/11tbbpam.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2011_7/11tbbpam.pdf).
  7. Лобова О.В., Левішко А.С., Гуменюк І.І. Біотехнології. Київ: НУБіП України, 2021. 548 с.
  8. Saeed Q., Xiukang W., Haider F.U. et al. Rhizosphere bacteria in plant growth promotion, biocontrol, and bioremediation of contaminated sites: a comprehensive review of effects and mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Vol. 22. P. 10529–10537. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms221910529>.
  9. Olanrewaju O.S., Glick B.R. and Babalola O.O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2017. Vol. 33. P. 197–205. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2364-9>.
  10. Лобова О.В., Гончар Л.М. Біотехнологічні мікробні препарати в сільському господарстві. Київ, 2021. 438 с.
  11. Davranov K., Shurigin V., Samadiy, S. and Djalolova B. The conception of microbial preparations development for a crop production. *Mikrobiolohichniy Zhurnal*. 2021. Vol. 83(1). P. 87–100. DOI: <https://doi.org/10.15407/microbiolj83.01.087>.
  12. Левішко А.С., Гуменюк І.І., Мазур С.О. Створення робочої колекції агрономічно корисних штамів мікроорганізмів. *Новітні досягнення біотехнології: матеріали VI міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 23-24 верес. 2022 р.)*. Київ, 2022. С. 59–60.
  13. Demattè J.A.M. and Nanni M.R. A novel method for estimating chlorophyll and carotenoid concentrations in leaves: a two hyperspectral sensor approach. *Sensors*. 2023. Vol. 23. P. 3843–3856. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23083843>.

## REFERENCES

1. Gamayunova, V., Panfilova, A., Baklanova, T. et al. (2020). Zbil'shennya zernovyrobnytva v zoni Stepu Ukrainy za rachunok vyroshchuvannya yachmenyu ta optymizaciyi jogo zhyvlennya [The increase of grain production in ukrainian steppe area by means of barley cultivation and its nutrition optimisation]. *Naukovi horyzonty — Scientific horizons*, 8 (87), 15–23. DOI: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-15-23> [in Ukrainian].
2. Hrytsiuk, N., Bakalova, A., Ribitska, G. et al. (2020). Efektyvnist' obrobky nasinnya pry vyroshhuvanni vівsa posivnogo v umovach lisostepu Ukrainy [The efficiency of seed treatment in oats cultivation in conditions of the ukrainian forest-steppe]. *Naukovi horyzonty — Scientific horizons*, 8 (93), 133–140. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-93-8-133-140 [in Ukrainian].
3. Mosiychuk, I., Beznosko, I., Turonik, Y. & Gorgan, T. (2021). Ekologichne obgruntuvannya regulyaciyi fitopatogennoho mikobiomu v agrocenozach yachmenyu yarogo u ekologichno bezpechnykh tehnologiyach [Ecological reasoning of regulation the phytopathogenic mycobioma in agrocenoses of spring barley under ecologically safe technologies]. *Аgroekologichnyy zhurnal — Agroecological journal*, 2, 117–124. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234468> [in Ukrainian].
4. Retman, S.V. & Panchenko, Yu.S. (2017). Protruyniky dlia zakhystu posiviv vівsa vid khvorob u pravoberezhnomu Lisostepi Ukrainy [Disinfectants for protection of oat crops from diseases in the right-bank forest-steppe of Ukraine]. *Аgroekologichnyy zhurnal — Agroecological journal*, 3, 72–76. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2017.219909> [in Ukrainian].
5. Levishko, A.S., Gumeniuk, I.I., Tkach, Ye.D. et al. (2022). Efektyvnist' vykorystannya novykh shtamiv *Rhizobium* na posivax bobovykh kul'tur [Efficiency of using new *Rhizobium* strains on legume crops]. *Аgroekologichnyy zhurnal — Agroecological journal*, 1, 136–144. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.257130> [in Ukrainian].
6. Teslyk, V.V. (2011). Konceptyalni osnovy vyrobnytva i zastosyvvannya mikrobiopreparativ [Conceptual basis for the production and use of microbial preparations]. *Naykovi dopovidi NUBiP — Scientific reports of NUBiP*, 7 (23). URL: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2011\\_7/11tbbpam.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2011_7/11tbbpam.pdf) [in Ukrainian].
7. Lobova, O.V., Levishko, A.S. & Gumeniuk, I.I. (2021). *Biotechnologiyi [Biotechnologies]*. Kyiv [in Ukrainian].
8. Saeed, Q., Xiukang, W., Haider, F.U. et al. (2021). Rhizosphere bacteria in plant growth promotion, biocontrol, and bioremediation of contaminated sites: a comprehensive review of effects and mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 10529–10537. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms221910529> [in English].
9. Olanrewaju, O.S., Glick, B.R. & Babalola, O.O. (2017). Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33, 197–205. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2364-9> [in English].

10. Lobova, O.V. & Gonchar, L.M. (2021). *Biotechnologichni mikrobnі preparaty v silskomu gospodarstvi [Biotechnological microbial preparations in agriculture]*. Kyiv [in Ukrainian].
11. Davranov, K., Shurigin, V., Samadiy, S. & Djalolova, B. (2021). The conception of microbial preparations development for a crop production. *Mikrobiologichnyi Zhurnal*, 83 (1), 87–100. DOI: <https://doi.org/10.15407/microbiolj83.01.087> [in English].
12. Gumeniuk, I.I., Levishko, A.S. & Mazur, S.O. (2022). Stvorennya robochoyi kolekciyi agronomichno korysnych shtamiv mikroorganizmiv [Creation of collection of agronomically useful strains of microorganisms]. *Novitni dosyahnennya biotekhnolohiyi: materialy VI mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya [Latest achievements of biotechnology: materials of the 6<sup>th</sup> international scientific and practical conference]*. (pp. 59–60). Kyiv: DIA [in Ukrainian].
13. Demattê, J.A.M. & Nanni, M.R. (2023). A novel method for estimating chlorophyll and carotenoid concentrations in leaves: a two hyperspectral sensor approach. *Sensors*, 23, 3843–3856. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23083843> [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 27.05.2023

---