

АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ДОБРИВ

Кушіль О. В., Конечна Р. Т.

ВСТУП

Рослини є автотрофними організмами. Для регуляції їхнього обміну речовин та нормального функціонування, необхідна сонячна енергія, вода та мінеральні речовини, які знаходяться у ґрунті. Через надмірне використання людиною ґрунтового покриву, його родючість постійно знижується. Це призводить до меншої кількості врожаю з гіршими характеристиками.

Запровадження зелених технологій у сільське господарство допоможе вирішити цю проблему. Існує багато варіантів дій. Найчастіше, для вирішення проблеми фермери використовують різні види підживлювачів або добрив. Існує багато їх видів, залежно від складників та дії. Останнім часом найбільш поширеними є неорганічні хімічні препарати. Вони мають ряд переваг, адже ефективно насичують ґрунт поживними речовинами і допомагають вирішити проблему голоду у світі. Вагомим мінусом їх використання є загроза для навколишнього середовища, тварин, рослин та людей, Вони створюють дисбаланс хімічних елементів і призводять до накопичення великої кількості важких металів.

Сьогодні набувають популярності різні види екологічних препаратів. Вони мають у своєму складі природні складники, які не чинять негативної дії на довкілля. Одним з досягнень біотехнології є створення добрив мікробіологічного походження або біодобрив застосовуючи різноманітні сучасні біотехнологічні методики. Дані добрива є субстратом з мікроорганізмів і сприяють активному росту та розвитку сільськогосподарських рослинних культур. Часто їх використовують у поєднанні з іншими видами добрив.

Метою дослідження є вивчення аспектів застосування біодобрив, зокрема різних видів мікробіологічних добрив, їх вплив на врожай, навколишнє середовище.

1. Механізм дії мікробіологічних добрив та чинники, що на нього впливають

Мікробіологічні добрива (англ.: *microbiological fertilizers*) – препарати, що містять ґрунтові мікроорганізми, які посилюють фіксацію

азоту, мінералізацію органічних добрив¹. Організми допомагають стимулювати ріст рослин і засвоювати поживні речовини.

Такі добрива класифікують за кількома принципами. Передусім, за видом взаємодії з сільськогосподарською культурою і вихідним результатом. Існує прямий і непрямий механізми.

Прямий впливає саме на активність та швидкість росту рослини через збільшення здатності поглинати поживні речовини. Кожен вид використовуваного мікроорганізму має різну дію. Він обов'язково включає фіксацію (біохімічний процес утворення нітрогеновмісних сполук, які будуть засвоюватись рослинами.), солюбізацію фосфатів або їх проникнення, утворення фітогормонів: ауксину, цитокініну, етилену, гіберелової кислоти, абсцизової кислоти, і підвищення доступності заліза шляхом виробництва сидерофора. Залізо важко доступне для поглинання, адже в природі існує у вигляді слаблорозчинних іонів. Тому мікробні сидерофори здатні хелатувати їх з мінералів і в результаті утворювати комплекс Fe^{3+} . Він є розчинним, тому легко поглинається.

Непрямий механізм діє по-іншому. В його основі лежить пригнічення функцій патогенних організмів, які заважають життєдіяльності рослин. Мікроорганізми виконують роль біопестициду та імуноглобулятора. Він включає виробництво деградуючих ферментів: АСС-дезамінази, антибіотиків, ціаніду водню, і також сидерофора.

До прямого механізму відносять: біологічні фітостимулятори та препарати з ефективних мікроорганізмів.

Фітостимулятори. Біологічними фітостимуляторами називають препарати з мікроорганізмами, які виробляють стимулятори росту рослин – фітогормони. Для їх виготовлення використовують різні види бактерій або грибів. Загалом у рослинному організмі немає такого процесу, на який би не впливали фітогормони, і цей вплив спостерігається впродовж всього онтогенезу – з моменту проростання насіння і до повного відмирання рослини.

Мікроорганізми виробляють антиметаболіти, гормони, допомагають в мінералізації і прискорюють процес розкладання органічних речовин. Завдяки цьому пришвидшується ріст коренів та і підвищується біодоступність поживних речовин. Процеси прискорюють загальний розвиток всієї рослини, покращують її загальні показники, збільшують врожайність².

¹ Жарінов В. І., Довгань С. В. Агроекологія: термінологічний та довідниковий матеріал. Навчальний посібник для ВМНЗ I-IV р.а. 2008. С. 22.

² Riaz U., Mehdi S. M., Iqbal S., Khalid H. I., Qadir A. A., Anum W., Murtaza G. Bio-fertilizers: eco-friendly approach for plant and soil environment. Bioremediation and Biotechnology: Sustainable Approaches to Pollution Degradation. 2020. p. 189-213. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0>

Здатність синтезувати регулятори росту рослин мають бактерії *Azospirillum brasiliense*, *Ps.aureofaciens*, *Ps.fluorescens*.³ Вони можуть утворювати велику кількість фітогормонів: цитокинін, гіберелін, абсцизова кислота, етилен, брасиностероїди, жасмонова та саліцилова кислоти.⁴ Також використовують ендofітні гриби, адже вони виробляють біоактивні вторинні метаболіти та ферменти.

Простота отримання природних фітогормонів мікробіологічного походження, відносно невисока їх вартість, здатність до детоксикації у рослинному організмі і легкого зв'язування в клітині та катаболізації обумовлюють значні перспективи використання цих речовин у рослинництві.

Препарати з ефективних мікроорганізмів. Останніми роками об'єктами досліджень є мікробіологічні препарати нового покоління з високою біологічною активністю. З їх допомогою підвищується врожайність сільськогосподарських культур на 5-15%. Препарат не чинить дії на рослину, лише на ґрунт. Він складається з суміші корисних бактерій: фотосинтезуючих, азото- та фосфорофіксуючих, молочнокислих та інших. Вони здатні поліпшувати стан ґрунту, очищати його від патогенних мікроорганізмів, токсинів і насичувати ферментами, мінералами.

За результатами трьох річних досліджень, періодична обробка рослин розчинами таких препаратів, як «ЕМ-А» та «Сяйво-2» мала позитивний вплив на висоту сільськогосподарської культури у фазі повного цвітіння, тобто перед збиранням зеленої маси. Також найбільшою площею фотосинтетичної поверхні і найбільшою кількістю пагонів на рослинах відзначились ті з них, які були підживлені розчинами препарату «ЕМ-А» у фазу початку вегетації⁵.

З дослідження Ю. В. Машенка «Вплив систем удобрення та ефективних мікроорганізмів на продуктивність гречки в умовах північного степу України» можна зробити висновок, що використання лише ефективних мікроорганізмів або органо-мінеральних добрив не забезпечило високої врожайності, а навпаки зменшувала вміст білка, азоту, фосфору в насінні.

³ Стрілець О. П., Стрельников Л. С., Трутаєв І. В. Мікробіологічні добрива. Вивчення властивостей. Харків: Національний фармацевтичний університет. 2016. С. 578-581.

⁴ Biofertilizers Market Size, Share, Growth. Global Analysis [2029]. Fortune Business Insights™. Global Market Research Reports & Consulting. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/biofertilizers-market-100413> (дата звернення: 28.04.2023).

⁵ Василенко О. Агроекологічні підходи до отримання екологічно безпечного врожаю м'яти перцевої. Умань: Уманський національний університет садівництва. С. 28-29.

Хороші результати показала суміш мінеральних і мікробіологічних добрив у вигляді прибавки з 26,5% до 31,0%⁶.

До непрямого механізму дії відносять біопестициди.

Біопестициди або біогербіцинти – це препарати, до складу яких входять мікроорганізми, які виробляють токсини для боротьби з шкідниками та патогенними мікроорганізмами.

Найрозповсюдженішими біопрепаратами є: інсектициди на основі кристалоутворюючої бацили *Bacillus thuringiensis*; бактородентицид на основі *Salmonella enteritidis* var. *Isatschenko*, що призводить до епізоотій окремих видів мишоподібних гризунів. Для грибних препаратів найчастіше використовують *Beauveria bassiana*, *Euascomycetes*, *Entomophthoraceae* і *Metarrhizium*. З вірусних препаратів *Baculoviridae*, *Poxiviridae*, *Iridoviridae*, *Parvoviridae*, *Picornaviridae*, *Reoviridae*.

Основна їх перевага – специфічність дії на організми, що є запорукою безпечності для здоров'я людини. Однак, необхідні певні методи контролю за їх виробництвом і застосуванням задля максимальної безпечності⁷.

2. Класифікація мікробіологічних добрив

Мікроорганізми можуть взаємодіяти з різними хімічними елементами, присутніми у навколишньому середовищі, та накопичувати їх. Через це існує інший поділ добрив. Їх розрізняють за видом хімічного елемента чи речовини, з яким взаємодіє мікроорганізм.

1. Взаємодія з азотом.

Азот постійно присутній в атмосфері у вільному стані і є його головною складовою. Він є складовою хлорофілу, ферментів, забезпечує синтез амінокислот та нуклеїнових кислот. Азот необхідний для нормального росту і розвитку рослин. Для того, аби легко поглинатись і задовольнити їх потребу в цьому макроелементі, він повинен перейти в іншу форму за допомогою азот фіксуючих мікроорганізмів. Бактерії здійснюють цей процес за допомогою фермента нітрогенази, який здатний активувати і відновлювати молекули азоту. Деякі з них допомагають засвоювати й інші макроелементи. Наприклад, рід бактерій

⁶ Машенко, Ю. В. Вплив систем удобрення та ефективних мікроорганізмів на продуктивність гречки в умовах північного степу України. Кіровоград: Кіровоградський інститут агропромислового виробництва УААН. 2009. С. 26-30.

⁷ Сметана, О. Ю. Сільськогосподарська біотехнологія. Біологічні добрива, Біотехнологічні препарати у комплексному захисті рослин Миколаївський національний аграрний університет. 2017. С. 5-14, 16-30.

*Azotobacter*⁸ здатний не лише фіксувати атмосферний азот, а й синтезувати ростові та антибіотичні речовини, вітаміни. Здатність бактерій до біологічної фіксації азоту зводить до мінімуму використання неорганічних та органічних добрив^{9,10}.

Часто для покращення характеристик добрива використовують згрупованих симбіонтів. Такими парами організмів є рослина *Azolla* і штам бактерій *Frankia*. Також *Azospirillum* і *Azotobacter* можуть перебувати в симбіозі з синьо-зеленими водоростями. Добриво, виготовлене на основі цих організмів, називають азотобактерином або ризофілом. Його застосовують у сільському господарстві для вирощування овочевих та технічних культур¹¹.

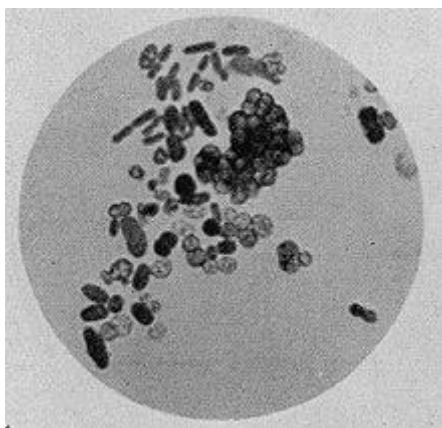


Рис. 1. Бактерія *Azotobacter*

⁸ Wikimedia Commons. File:Azotobacter_cells.jpg. 5 February 1920. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Azotobacter_cells.jpg#/media/File:Azotobacter_cells.jpg (дата звернення: 28.04.2023).

⁹ Riaz U., Mehdi S. M., Iqbal S., Khalid H. I., Qadir A. A., Anum W., Murtaza G. Bio-fertilizers: eco-friendly approach for plant and soil environment. *Bioremediation and Biotechnology: Sustainable Approaches to Pollution Degradation*. 2020. p. 189-213. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0>

¹⁰ Журавель С. В., Кравчук М. М., Кропивницький Р. Б., Клименко Т. В., Трембійська О. І., Радько В. Г., Нігородова С. А., Дяченко М. О., Журавель С. С., Поліщук В. О. Органічні добрива. Бактеріальні добрива, Регулятори росту. 2020. с.83-86.

¹¹ Samreen T., Riaz U., Sarfraz M., Nazir M. Z., Zaheer Z. A., & Kanwal S. Understanding the Role of Bacterial Fertilizers in Stressed Agriculture: Actions, Mechanisms and Future Prospects. *Plant Growth Regulators: Signalling under Stress Conditions*. 2021. p. 441-453. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61153-8>

Окремо розрізняють добрива, що містять штами бульбочкових бактерій. Їх симбіоз з бобовими рослинами (горохом, люпином, конюшиною, соєю, арахісом, еспарцетом, люцерною)¹² – одна з найефективніших систем біологічної фіксації азоту, яка функціонує за впливу різноманітних біотичних та абіотичних чинників, має велике екологічне і практичне значення.¹³ Симбіоз може відбуватись лише в бульбочках на коренях бобових рослин. Вони виникають, коли бактерії проникають до кореня через кореневі волоски.

Поширеними представниками бульбочкових бактерій є *Rhizobium* і *Bradyrhizobium*. На їх основі виготовляють препарат нітрагін. Він існує у двох формах – сухій і ґрунтовій. У сухому варіанті міститься нестерильний наповнювач, торф або бентоніт. Ним є препарат ризобін. Ризоторфін – ґрунтова форма на основі торфу, що є ефективнішим препаратом. Має вигляд сипучої маси темного кольору. У ґрунтовій формі штамп бактерій перебуває у стерильному ґрунті.¹⁴

Прищеплення мікроорганізмів бобовим культурам називають інокуляцією. Насіння бобових обробляють під навісом в день посіву із розрахунку 200 г на гектарну норму. Насіння змочують (1 л води на 1 ц насіння), додавають необхідну кількість добрива і добре перемішують. Оброблене насіння зразу ж висівають.¹⁵

2. Взаємодія з фосфором.

Фосфор – незамінний макроелемент у живленні рослин. Він поліпшує процеси проростання насіння, сприяє росту коренів, пагонів та підтримує інші життєво необхідні процеси. У природі майже не існує у вільному стані, лише у вигляді органічних та неорганічних сполук. Вони погано поглинаються рослинами через низьку розчинність і високу здатність ґрунту до Р-адсорбції.

Мікроорганізми здатні виробляти органічну кислоту та екструзувати білок двома мікробними процесами, щоб розчинити фосфат до легкорозчинних сполук. Також деякі види бактерій здатні розчиняти

¹² Dovidka.biz.ua. Характерні ознаки родини Бобові. URL: <https://dovidka.biz.ua/harakterni-oznaki-rodini-bobovi/> (дата звернення: 28.04.2023).

¹³ Воробей Н., Пухтаєвич П., Коць Т., Коць, С. Використання бульбочкових бактерій як засобу розширення адаптивних можливостей сої в умовах посухи. Фізіологія рослин і генетика. Київ: Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України. С. 26-39. <https://doi.org/10.15407/frg2022.01.026>

¹⁴ Samreen T., Riaz U., Sarfraz M., Nazir M. Z., Zaheer Z. A., & Kanwal S. Understanding the Role of Bacterial Fertilizers in Stressed Agriculture: Actions, Mechanisms and Future Prospects. *Plant Growth Regulators: Signalling under Stress Conditions*. 2021. p. 441-453. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61153-8>

¹⁵ Журавель С. В., Кравчук М. М., Кропивницький Р. Б., Клименко Т. В., Трембіцька О. І., Радько В. Г., Нігородова С. А., Дяченко М. О., Журавель С. С., Поліщук В. О. Органічні добрива. Бактеріальні добрива, Регулятори росту. 2020. С. 83-86.

гідроксиapatит, дикальцій фосфат і трикальцій фосфат. До таких мікроорганізмів відносять роди бактерій *Bacillus*¹⁶, *Burkholderia*, *Micrococcus*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Flavobacterium* і *Erwinia*, які є солубізаторами. Гриби родів *Arthrobotrys oligospora*, *Aspergillus sp.* та нематодний гриб також мають такі властивості і здатні розчиняти фосфорит. Мобілізувати фосфати здатна мікориза. При симбіозі з рослинами, вона проникає в кореневі клітини рослини, звідки отримує вуглець^{17,18}.

Фосфобактерин є біодобрином, виготовленим з паличкоподібних бактерій. Найбільш доцільним є застосування препарату на ґрунтах, багатих на органічну речовину. Спосіб його виробництва майже не відрізняється від виробництва азотобактерину чи нітрагіну.



Рис. 2. Бактерія *Bacillus*

Промисловий випуск було припинено у зв'язку з низькою ефективністю, проте пошук відповідних мікроорганізмів і створення на їх основі високоєфективних препаратів є досить перспективним напрямком наукових розробок¹⁹.

¹⁶ URL: <https://media.sciencephoto.com/image/c0322136/800wm> (дата звернення: 28.04.2023).

¹⁷ Жарінов В. І., Довгань С. В. Агроекологія: термінологічний та довідниковий матеріал. Навчальний посібник для ВМНЗ I-IV р.а. 2008. С. 22.

¹⁸ Меньшакова Л. А. Методи отримання біодобрив та шляхи їх застосування. Миколаївський національний аграрний університет. 2017. С. 163-166.

¹⁹ Журавель С. В., Кравчук М. М., Кропивницький Р. Б., Клименко Т. В., Трембіцька О. І., Радько В. Г., Нігородова С. А., Дяченко М. О., Журавель С. С., Поліщук В. О. Органічні добрива. Бактеріальні добрива, Регулятори росту. 2020. с. 83-86.

3. Взаємодія з цинком.

Найважливішими макроелементами, які важко поглинаються рослинами, є нітроген та фосфор, тому їх нестача відчувається найсильніше. Сьогодні, через надмірне використання ґрунтового покриву сільськогосподарські культури відчувають і нестачу мікроелементів.

Цинк, метал, який має великий вплив на окислювально-відновлювальні процеси всередині клітин та здатний підвищувати водоотримувальну здатність, жаростійкість. Його дефіцит найбільш негативно впливає на утворення насіння²⁰.

Із загальної кількості цинку, яка вільно існує у ґрунті, фіксується близько 75%, а рослинами поглинається лише 1-4%. Фіксація відбувається з утворенням комплексу або за допомогою хемосорбції. Комплекс складається з центрального атома, власне цинку, і органічного ліганда. Хемосорбція – поглинання газів або розчинених речовин твердим поглиначем (цинком) з утворенням малолетких чи малорозчинних хімічних з'єднань²¹.

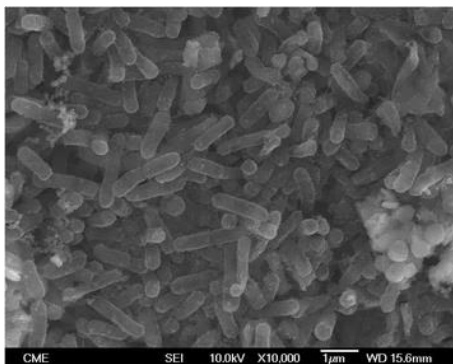


Рис. 3. Бактерія *Thiobacillus thiooxidans*

Продукувати сполуки, здатні до поглинання рослинами, можуть гриби *Saccharomyces* і бактерії роду *Thiobacillus thiooxidans* та *Bacillus* sp.²².

²⁰ Недільська, У. І. Вплив мікроелементів на життєдіяльність рослин. Подільський державний аграрно-технічний університет. 2020. С. 124-125.

²¹ Северин Л. І., Петрук В. Г., Безвозюк І. І., Васильківський І. В. Природоохоронні технології. Частина 1. Захист атмосфери. Хемосорбція 6.2. Навчальний посібник. 2012. С. 182.

²² Wikimedia Commons. File:Acidithiobacillus_thiooxidans_CLST.webp. 19 December 2017. URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/58/Acidithiobacillus_thiooxidans_CLST.webp (дата звернення: 28.04.2023).

4. Взаємодія з калієм.

Калій є одним з основних біогенних елементів. Його вміст в земній корі становить 2,5%. Для рослин він є незамінним мікроелементом. Метал оптимізує кислотно-лужний баланс, підвищує фотосинтетичну активність, бере активну участь у білковому і вуглеводному обміні. В овочевих і плодкових культурах збільшує зав'язування плодів та формування врожаю. Також поліпшує забарвлення, смак і лежкість плодів.

Кругообіг калію у природі порушений. Щороку у ґрунт з біомасою повертається від 3–5 до 300 кг/га оксиду калію, а виноситься від 20 до 500 кг/га. Його вміст у ґрунті потрібно поповнювати іншими шляхами.

У ґрунті метал існує переважно у вигляді оксиду калію, але рослини здатні поглинати його лише у вигляді катіонів²³. Біодобрива здатні мобілізувати його недоступну форму. Найчастіше, їх виготовляють на основі гриба *Aspergillus sp.* і бактерії *Bacillus sp.* Ці мікроорганізми здатні здійснювати солюбізацію не лише фосфатів, а й калійних речовин²⁴.

5. Використання кремнію.

За поширеністю у земній корі, кремній займає 2-ге місце після кисню. Він міститься в ґрунті у вигляді силікатних мінералів або його діоксидів, які є недоступними для рослин. Кремній позитивно впливає на покращення ґрунтової родючості, вологозабезпеченості, посухо- і морозостійкості рослин, зменшує засолення ґрунтів. Він підвищує продуктивність фотосинтезу, врожайність сільськогосподарських культур, захищає сільськогосподарські культури від шкідників та хвороб, стимулює засвоєння азоту рослинами²⁵.

Бактерії роду *Bacillus* здатні використовувати енергію хімічних зв'язків цих речовин для виробництва власних органічних кислот. Такий процес здійснює рід мікроорганізмів *Thiobacillus thiooxidans* у стерильному середовищі за наявності кимберліту. Бактерії накопичують сірчану кислоту, і прискорюють процес розщеплення силікатних мінералів²⁶.

6. Використання сірки.

²³ Господаренко Г. М., Черно О. Д., Нікітіна О. В. Агрохімія калію. Київ: ТОВ «ТРОПЕА». 2021. С. 11-13.

²⁴ Riaz U., Mehdi S. M., Iqbal S., Khalid H. I., Qadir A. A., Anum W., Murtaza G. Bio-fertilizers: eco-friendly approach for plant and soil environment. Bioremediation and Biotechnology: Sustainable Approaches to Pollution Degradation. 2020. p. 189-213. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0>

²⁵ Росіцька Н. В. Використання сполук кремнію для біологічного землеробства. Біологічні системи. Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України. 2012 с. 202-206.

²⁶ Ширококов В., Димент Г. На зорі зародження життя: роль глинистих мінералів. Світгляд-1-2013. О, 1.39. Київ. 2013. С. 58-65.

У природі вона існує у формі оксидів, а поглинається рослинами лише у вигляді іонів. Вона допомагає ефективніше поглинати азот, тому підвищує врожайність та збільшує кількість крохмалю у деяких видах сільськогосподарських культур.

Рід бактерій *Thiobacillus sp* допомагає рослинам ефективно засвоювати сірку, адже здатна накопичувати її. Прикладом таких біодобрих на комерційному ринку є «Сульфоргін» та «Сульфомекс».

Біодобрива можна класифікувати за видами мікроорганізмів, які взаємодіятимуть з рослинами. Серед них: бактерії, гриби та віруси.

Бактерії. На основі бактерій створюють найбільшу кількість біодобрих. В основному використовують симбіотичну взаємодію коренів бобових рослин з азотфіксувальними та фосфорофіксувальними бактеріями. Вони допомагають засвоювати інші хімічні елементи, чинять біопестицидну та імуноглобулярну дію. Найчастіше використовують роди бактерій *Azotobacter* і *Rhizobium*²⁷. Найвідомішими препаратами є ризоторфін, азотобактерін, фосфобактерин. Вони є абсолютно нешкідливими для рослин, тварин та людей.

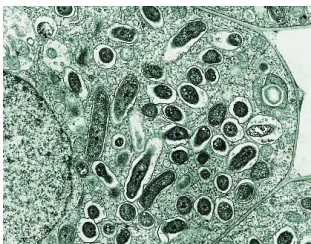


Рис. 4. Бактерія *Rhizobium*

У дослідженні росту сої Шевніковим М. Я. та аспірантами Міленком О. Г., Лотишем І. І. «Якісні показники насіння сої залежно від впливу мінеральних і бактеріальних добрив», вона здатна тривалий час підтримувати активне функціонування фіксуючої азот-симбіотичної системи. При внесенні бактеріального добрива «Ризоторфін» у дозі $N_{30}P_{60}$ в період цвітіння та плодоутворення зерна зберігався нормальний хід формування бобів та накопичення білка. Вміст жиру у насінні сої за внесення азотних добрив був 17,6–18,2 %, а при внесенні бактеріальних 18,1%. Без добрив відсоток жиру складав 17,2%. Найефективнішою

²⁷ KÖRINFO. File:Rhizobium1.jpg. URL: <https://www.enfo.hu/sites/default/files/styles/preview/public/Rhizobium1.jpg?itok=yPOvnLYe> (дата звернення: 28.04.2023).

виявилась комплексна дія мінеральних та бактеріальних добрив. Вміст жиру склав 21,4-22,4%²⁸.

Гриби. Грибні препарати в основному чинять інсектицидну дію. Мікоризні гриби здатні встановлювати взаємну кореляцію з рослинами за рахунок утворення везикулярнобускулярної мікоризи (ВАМ) з кореневою системою. Організми можуть покращувати структуру, родючість ґрунту та відіграють важливу роль у постачанні поживних речовин, наприклад азоту, фосфору. Це дозволяє рослинам рости та розвиватись за різних, навіть несприятливих умов. Гриби стимулюють утворення гормонів, наприклад гіберелінової кислоти та ІАА. Також здатні продукувати токсини, які є небезпечними для комах та численних патогенних організмів. Спори грибів можуть довго зберігатись в середовищі²⁹.

Ще не розроблена методика вирощування ендомікоризних грибів у чистій культурі з метою інокуляції цими грибами культурних рослин. Основні труднощі, які виникають при створенні біопрепаратів на основі ВАМ, – це пошук наповнювача-субстрату для культивування гриба. Німецькі дослідники для тривалого збереження інокулюму ВАМ використовують пористу глинисту масу, на якій цей інокулюм зберігається протягом п'яти років і не втрачає активності.

Найчастіше використовують види грибів *Beauveria bassiana*, *Euascormycetes*, *Entomophthoraceae*, *Aspergillus sp*³⁰ і *Metarrhizium*. З них утворюють сухі добрива.

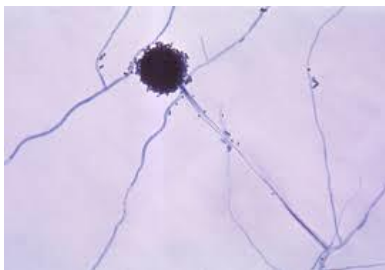


Рис. 5. Гриб *Aspergillus*

²⁸ Шевніков М. Я., Міленко О. Г., Лотиш І. І. Якісні показники насіння сої залежно від впливу мінеральних і бактеріальних добрив. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2014. с. 25-29. <https://doi.org/10.31210/visnyk2014.04.04>

²⁹ Samreen T., Riaz U., Sarfraz M., Nazir M. Z., Zaheer Z. A., & Kanwal S. Understanding the Role of Bacterial Fertilizers in Stressed Agriculture: Actions, Mechanisms and Future Prospects. *Plant Growth Regulators: Signalling under Stress Conditions*. 2021. p. 441-453. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61153-8>

³⁰ Wikimedia Commons. File: *Aspergillus_niger_01.jpg*. 5 August 2006. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Аспергіл#/media/Файл:Aspergillus_niger_01.jpg (дата звернення: 28.04.2023).

Боверин виготовляють на основі гриба боверіна (*Beauveria bassiana*). Він рекомендується для захисту сільськогосподарських і квітково-декоративних культур від трипсів, оранжерейної білокрилки, личинок грибних комариків та інших організмів. Конідіеспори гриба проникають у порожнину тіла, розчиняючи ферментами кутикулу. Там проростають, при цьому виділяють токсини, викликаючи загибель шкідників. Його вводять у концентрації 1% у водному розчині³¹.

Актофїт виготовляють з комплексу природних авермектинів, які продукуються ґрунтовим грибом *Streptomy avemitills*. Використовується для знищення шкідників різних сільськогосподарських культур і декоративних рослин та лісових і паркових насаджень. Нейротоксини (авермектини) проникають в організм комах кишковим або контактним шляхом і незворотно вражають їх нервову систему. Препарат є нешкідливим для рослин і людей. Його вводять у концентрації 0,2% у водному розчині³².

Віруси. Вірусні препарати чинять лише інсектицидну дію. Біологічна ефективність вірусних інсектицидів не поступається хімічним пестицидам та становить від 75 до 95 %. Використовують віруси, які розмножуються у клітинах комах певних видів. До тих які мають ДНК відносять родини бакуловірусів (*Baculoviridae*³³), вірусів віспи (*Poxiviridae*), іридовірусів (*Iridoviridae*) і парвовірусів (*Parvoviridae*). З РНК – пікорнавірусів (*Picornaviridae*) і реовірусів (*Reoviridae*). Ці препарати називають віринами.

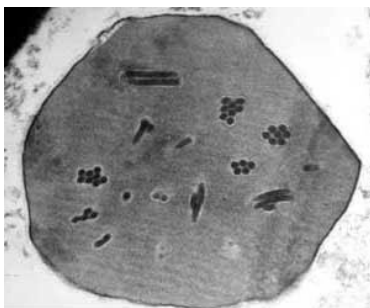


Рис. 6. Вірус *Baculoviridae*

³¹ Сметана, О. Ю. Сільськогосподарська біотехнологія. Біологічні добрива, Біотехнологічні препарати у комплексному захисті рослин Миколаївський національний аграрний університет. 2017. С. 5-14, 16-30.

³² Попова, Л. В. Огляд основних біологічних препаратів для регулювання чисельності шкідників в умовах південно-західного Причорномор'я України. Аграрний вісник Причорномор'я. Випуск 88. 2018. С. 98-104.

³³ Wikimedia Commons. File: Baculovirus.jpg. 23 April 2006. URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/Baculovirus.jpg> (дата звернення: 28.04.2023).

Першим зареєстрованим у світі вірусним інсектицидом був препарат «Viron-H», виготовлений на основі вірусу ядерного поліедрозу бавовняної совки *Heliothis zea NPV*. Він пройшов усі етапи досліджень за програмою ВООЗ та визнаний як такий, що є безпечним для всіх форм життя, окрім свого хазяїна та ряду близькоспоріднених видів комах.

Одним із біопрепаратів інсектицидної дії на основі бакуловірусу *Helicoverpa armigera nucleopolyhedrovirus* є «Хеліковекс, КС». Його використовують для обприскування томатів, сої, перцю у період вегетації.¹⁹

Spodoptera litura є серйозним шкідником таких овочів, як брокколи, квасоля, капуста та дашин у Південному Китаї. Вірус *Spodoptera litura nucleopolyhedrovirus (SpliNPV)* активно протидіє комахам. Він виробляється як комерційний інсектицид шляхом постійного вирощування личинок-господарів на штучній дієті.³⁴

3. Підходи та способи виготовлення мікробіологічних добрив

Виготовлення мікробіологічних добрив на прикладі бактеріологічного

Існує 6 основних етапів виготовлення бактеріологічного добрива. Серед них:

1. Вибір активних досліджуваних організмів (рослини).
2. Вибір активного досліджуваного мікроорганізму.
3. Виділення вибраного штаму мікроорганізмів (бактерій).
4. Вибір методу та матеріалу носія.
5. Вибір методу розмноження.
6. Прототип тестування і широкомасштабне тестування.

Для виготовлення добрива вибирають певний вид азот фіксуючих бактерій, або їх комбінацію. Враховують профіль росту, властивості, швидкість розмноження, безпечність для людини. Вибір методу розмноження полягає в визначенні оптимального стану організму шляхом отримання профілю росту за різних умов та параметрів. Для зміцнення вибраної культури використовують інокулянт. Його також підбирають залежно від складу, методу застосування та зберігання. Після цього проводять відокремлення цільових мікроорганізмів від кореня рослини, тобто їхнього середовища існування. Далі здійснюють бактеріологічний посів на чашці Петрі. Потім ізольовані організми ростимуть у колбі для струшування і у теплиці. Це необхідно для вибору найкращого кандидата³⁵.

³⁴ Sun X. History and current status of development and use of viral insecticides in China. *Viruses*, 7.1. 2015 p. 306-319. <https://doi.org/10.3390/v7010306>

³⁵ Меньшаківа Л. А. Методи отримання біодобрив та шляхи їх застосування. Миколаївський національний аграрний університет. 2017. С. 163-166.

Для забезпечення легкості обробки, тривалого періоду зберігання добрива готують як інокулянти і поміщають на носії з ефективними мікроорганізмами. Потім їх стерилізують гамма-випромінюванням, або автоклавуванням. Матеріал носія повинен бути нетоксичним для штаму бактерій і досліджуваної рослини, мати здатність поглинати вологу та добре прилипати до насіння. Також має мати хорошу буферну здатність. Форма вихідного добрива також залежить від наявності носія. Рідке добриво отримують безпосередньо при виході з біореактора. Тверду форму (порошкоподібну) отримують шляхом осушення рідкої форми і використання відповідного матеріалу носія, борошна тапіоки або торфу. Готовий прототип бактерій тестується в різних формах і випробовується у великих масштабах³⁶.

Форми добрив впливають на їх спосіб внесення. Рідку зазвичай вносять при змішуванні з водою у пропорції 1:1 безпосередньо на поле. Його розбавляють, адже велика кількість бактерій продукуватиме велику кількість аміаку та фосфору що негативно впливатиме на ріст сільськогосподарських культур. Вносять їх за допомогою машин для прикореневого і позакореневого живлення або безпосередньо зливом в іригаційні канали. Недоліком першого методу є велика енергозатратність, а другого, нерівномірне розподілення добрив у ґрунті.

Тверді форми добрив існують у вигляді порошків, тому за допомогою збирачів їх легко вносити. Перевагою є те, що не виникає проблеми з наступним культивуванням ґрунту. Недоліком є менший термін зберігання, адже наявний азот та амоній з часом випаровуються. Також необхідно обмежити доступ води і вологи до порошку.

Найпоширенішим способом серед середніх та невеликих господарств є компостування збродженої маси. До компосту додають сухі органічні відходи: солому, опале листя, дрібні гілочки, бур'яни, які не містять шкідливих речовин та є безпечними. Утворюється сприятливе середовище для розмноження корисних мікроорганізмів. У ґрунт вносять готовий компост³⁷.

В основному добрива вносять двічі на рік, весною та восени. Іноді застосовують інші техніки, залежно від штаму використаних бактерій та особливостей вирощуваної сільськогосподарської культури. Також популярний метод регулярного підживлення у малих кількостях протягом року.

³⁶ Aggani S. L. Development of Bio-fertilizers and its Future Perspective. Scholars Academic Journal of Pharmacy, 2.4. 2013 p. 327-332.

³⁷ Меньшакова Л. А. Методи отримання біодобрив та шляхи їх застосування. Николаївський національний аграрний університет. 2017. С. 163-166.

4. Використання добрив мікробіологічного типу: переваги та недоліки

Перевагами застосування мікробіологічних добрив є:

1. Екологічно безпечні, на відміну від хімічних.

Їх використання не порушує співвідношення різних елементів. Не відбувається накопичення фосфатів, нітратів, важких металів та інших сполук. Добриво може збільшити концентрацію деяких поживних речовин, але наростання токсичності є малоімовірним, адже мікроорганізми мають обмежений час життя³⁸.

2. Відносно недорогі.

Ціни на біодобрива коливаються в межах цін на хімічні аналоги. При підвищеній ціні, витрати покриваються збільшеним врожаєм.

3. Дають високі результати росту сільськогосподарських культур.

Допомагають підвищити врожайність на 10-25% через певний проміжок часу. Здатні покращувати проліферацію коренів завдяки виділенню гормонів, що стимулюють ріст. Допомагають ефективно засвоювати атмосферний азот фосфор та інші сполуки.

4. Безпечні у виготовленні.

Вони є безпечними для здоров'я співробітників і навколишнього середовища, адже не виділяють небезпечних відходів: газів, токсинів, пилу. В окремих людей можуть виникати індивідуальні алергічні реакції.

5. Збагачують ґрунт.

Їх використання призводить до збагачення і покращення якості ґрунту. Мікроорганізми перетворюють складний органічний матеріал у прості сполуки, тим самим насичуючи його поживними речовинами.

Недоліками застосування мікробіологічних добрив вважають:

1. Повільне вивільнення поживних речовин.

Більш низькі температури ґрунту не сприяють виділенню елементів. Швидкість виділення поживних речовин надто повільна, щоб задовольнити потреби врожаю за короткий час. Деяка кількість поживних речовин може зникнути.

2. Менш зручні форми застосування.

Сухі форми борошняного вигляду є незручними для внесення на великі площі землі. В рідких формах можуть бути розчинені залишки, які засмічуватимуть розпилувачі.

3. Менший термін зберігання.

Концентрація мікроорганізмів з часом зменшується. Частина з них помирає через несприятливі умови або недостатню кількість їжі³⁹.

³⁸ Aggani S. L. Development of Bio-fertilizers and its Future Perspective. Scholars Academic Journal of Pharmacy, 2.4. 2013 p. 327-332.

³⁹ Hazra G. Different types of eco-friendly fertilizers: An overview. Sustainability in Environment, 1.1, 2016. P. 54-70.

У світі, серед візних видів біодобрив, найпоширенішими залишаються азотфіксуючі і фосфатмобілізуючі бактеріальні добрива. Вони є простими у виготовленні, тому в майже в кожній країні їх виробляють вітчизняні компанії. Ключовими світовими виробниками на ринку добрив є компанії: «Lallemand Inc.», «Fertilizers USA LLC», «AgriLife», «Symborg SL», «CBF China Biofertilizer», «Novozymes A/S», «Vegalab SA», «UPL Limited», «Chr. Hansen Holding A/S, Kiwa Bio-Tech», «Rizobacter Argentina S.A.», «T. Stanes & Company Limited», «IPL Biologicals Limited», «Nutramax Laboratories Inc.», «Symborg»⁴⁰. В Україні їхнім виготовленням та контролем якості займаються Інститут сільськогосподарської мікробіології та АПВ НААН, Південна дослідна станція Інституту сільськогосподарської мікробіології та АПВ НААН, Інститут агроєкології та природокористування НААН, Інститут фізіології рослин і генетики НАН України.⁴¹

ВИСНОВКИ

Використання мікробіологічних добрив є перспективним напрямком зелених технологій. Завдяки їх екологічній та безпечній природі та незамінним характеристикам вони стають все популярнішими на світовому ринку.

Добрива діють за трьома принципами: захист рослини від шкідників (біопестициди), синтез біологічних стимуляторів росту (біологічні фітостимулятори) або її збагачення поживними речовинами за рахунок симбіозу. Найперспективнішим напрямом є використання симбіозу азотфіксувальних бактерій з бульбочками коренів.

Добрива виготовляють на основі бактерій, грибів або вірусів. Найпоширенішими залишаються бактеріальні препарати. Вони фіксують найважливіші хімічні елементи: нітроген, фосфор, кремній, цинк, калій, сірку, роблячи їх доступними для поглинання.

Мікробіологічні добрива мають ряд переваг і недоліків. Їх самостійна дія дає хороші результати у збільшенні врожаю та його характеристик. Кращі результати можна отримати, комбінуючи їх з іншими. Через це

⁴⁰ Biofertilizers Market Size, Share, Growth. Global Analysis [2029]. Fortune Business Insights™. Global Market Research Reports & Consulting. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/biofertilizers-market-100413> (дата звернення: 28.04.2023).

⁴¹ Сметана, О. Ю. Сільськогосподарська біотехнологія. Біологічні добрива, Біотехнологічні препарати у комплексному захисті рослин Миколаївський національний аграрний університет. 2017. С. 5-14, 16-30.

доцільне використання мікробіологічних добрив з неорганічними або органічними. Такі висновки підтвердили ряд досліджень^{42,43}.

Отже, майбутні дослідження повинні базуватись на підвищенні стійкості, якостей мікробіологічних добрив та їх поєднанні з неорганічними. Також необхідно забезпечити якісний контроль за ними.

АНОТАЦІЯ

Одним з перспективних видів зелених технологій є використання нових мікробіологічних добрив. Вони допомагають зберегти і навіть покращити ґрунти, тим самим відновивши один з найважливіших ресурсів нашої планети. Завдяки унікальним характеристикам, біодобрива є конкурентоспроможними на світовому ринку добрив. Проаналізовано склад, характеристики, різновиди та особливості кожного виду. Досліджено їх поєднання з неорганічними добривами. Оцінено переваги та недоліки використання.

Література

1. Жарінов В. І., Довгань С. В. Агроєкологія: термінологічний та довідниковий матеріал. *Навчальний посібник для ВМЗ I-IV* р.а. 2008. С. 22.

2. Riaz U., Mehdi S. M., Iqbal S., Khalid H. I., Qadir A. A., Anum W., Murtaza G. Bio-fertilizers: eco-friendly approach for plant and soil environment. *Bioremediation and Biotechnology: Sustainable Approaches to Pollution Degradation*. 2020. p. 189-213. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0>

3. Стрілець О. П., Стрельников Л. С., Трутаєв І. В. Мікробіологічні добрива. Вивчення властивостей. Харків: Національний фармацевтичний університет. 2016. С. 578-581.

4. Biofertilizers Market Size, Share, Growth. Global Analysis [2029]. Fortune Business Insights™. Global Market Research Reports & Consulting. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/biofertilizers-market-100413> (дата звернення: 28.04.2023).

5. Василенко О. Агроєкологічні підходи до отримання екологічно безпечного врожаю м'яти перцевої. Умань: Уманський національний університет садівництва. С. 28-29.

6. Мащенко, Ю. В. Вплив систем удобрення та ефективних мікроорганізмів на продуктивність гречки в умовах північного степу

⁴² Мащенко, Ю. В. Вплив систем удобрення та ефективних мікроорганізмів на продуктивність гречки в умовах північного степу України. Кіровоград: Кіровоградський інститут агропромислового виробництва УААН. 2009. С. 26-30.

⁴³ Шевніков М. Я., Міленко О. Г., Лотиш І. І. Якісні показники насіння сої залежно від впливу мінеральних і бактеріальних добрив. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2014. с. 25-29. <https://doi.org/10.31210/visnyk2014.04.04>

України. Кіровоград: Кіровоградський інститут агропромислового виробництва УААН. 2009. С. 26-30.

7. Сметана, О. Ю. Сільськогосподарська біотехнологія. *Біологічні добрива, Біотехнологічні препарати у комплексному захисті рослин* Миколаївський національний аграрний університет. 2017. С. 5-14, 16-30.

8. Wikimedia Commons. File:Azotobacter_cells.jpg. 5 February 1920. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Azotobacter_cells.jpg#/media/File:Azotobacter_cells.jpg (дата звернення: 28.04.2023).

9. Журавель С. В., Кравчук М. М., Кропивницький Р. Б., Клименко Т. В., Трембіцька О. І., Радько В. Г., Нігородова С. А., Дяченко М. О., Журавель С. С., Поліщук В. О. Органічні добрива. *Бактеріальні добрива, Регулятори росту*. 2020. с. 83-86.

10. Samreen T., Riaz U., Sarfraz M., Nazir M. Z., Zaheer Z. A., & Kanwal S. Understanding the Role of Bacterial Fertilizers in Stressed Agriculture: Actions, Mechanisms and Future Prospects. *Plant Growth Regulators: Signalling under Stress Conditions*. 2021. p. 441-453. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61153-8>

11. Dovidka.biz.ua. Характерні ознаки родини Бобові. URL: <https://dovidka.biz.ua/harakterni-oznaki-rodini-bobovi/> (дата звернення: 28.04.2023).

12. Воробей Н., Пухтаєвич П., Коць Т., Коць, С. Використання бульбочкових бактерій як засобу розширення адаптивних можливостей сої в умовах посухи. *Фізіологія рослин і генетика*. Київ: Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України. С. 26-39. <https://doi.org/10.15407/frg2022.01.026>

13. URL: <https://media.sciencephoto.com/image/c0322136/800wm> (дата звернення: 28.04.2023).

14. Меньшакова Л. А. Методи отримання біодобрив та шляхи їх застосування. Миколаївський національний аграрний університет. 2017. С. 163-166.

15. Недільська, У. І. Вплив мікроелементів на життєдіяльність рослин. Подільський державний аграрно-технічний університет. 2020. С. 124-125.

16. Северин Л. І., Петрук В. Г., Безвозюк І. І., Васильківський І. В. Природоохоронні технології. Частина 1. Захист атмосфери. *Хемосорбція 6.2. Навчальний посібник*. 2012. С. 182.

17. Wikimedia Commons. File: Acidithiobacillus_thiooxidans_CLST.webp. 19 December 2017. URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/58/Acidithiobacillus_thiooxidans_CLST.webp (дата звернення: 28.04.2023).

18. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Нікітіна О. В. Агрохімія калію. Київ: ТОВ «ТРОПЕА». 2021. С. 11-13.

19. Росіцька Н. В. Використання сполук кремнію для біологічного землеробства. *Біологічні системи*. Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України. 2012 с. 202-206.

20. Ширококов В., Димент Г. На зорі зародження життя: роль глинистих мінералів. *Світгляд-1-2013. О, 1.39*. Київ. 2013. С. 58-65.

21. KÖRINFO. File:Rhizobium1.jpg. URL: <https://www.enfo.hu/sites/default/files/styles/preview/public/Rhizobium1.jpg?itok=yPOvnLYe> (дата звернення: 28.04.2023).

22. Шевніков М. Я., Міленко О. Г., Лотиш І. І. Якісні показники насіння сої залежно від впливу мінеральних і бактеріальних добрив. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. с. 25-29. <https://doi.org/10.31210/visnyk2014.04.04>

23. Wikimedia Commons. File:Aspergillus_niger_01.jpg. 5 August 2006. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Аспергіл#/media/Файл:Aspergillus_niger_01.jpg (дата звернення: 28.04.2023).

24. Попова, Л. В. Огляд основних біологічних препаратів для регулювання чисельності шкідників в умовах південно-західного Причорномор'я України. *Аграрний вісник Причорномор'я. Випуск 88*. 2018. С. 98-104.

25. Wikimedia Commons. File:Baculovirus.jpg. 23 April 2006. URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/Baculovirus.jpg> (дата звернення: 28.04.2023).

26. Sun X. History and current status of development and use of viral insecticides in China. *Viruses*, 7.1. 2015 p. 306-319. <https://doi.org/10.3390/v7010306>

27. Aggani S. L. Development of Bio-fertilizers and its Future Perspective. *Scholars Academic Journal of Pharmacy*, 2.4. 2013 p. 327-332.

28. Hazra G. Different types of eco-friendly fertilizers: An overview. *Sustainability in Environment*, 1.1, 2016. P. 54-70.

Information about the authors:

Kushil Oleksandra Valeriivna,

1st year student at the Department of Technology of Biologically Active Substances, Pharmacy and Biotechnology
Lviv Polytechnic National University
12, S. Bandery Str., Lviv, 79013, Ukraine

Konechna Roksolana Tarasivna,

Candidate of Pharmaceutical Sciences,
Associate Professor at the Department of Technology of Biologically Active Substances, Pharmacy and Biotechnology
Lviv Polytechnic National University
12, S. Bandery Str., Lviv, 79013, Ukraine