

ЛАБОРАТОРІЯ ГРУНТОВОЇ МІКРОБІОЛОГІЇ. НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

Лабораторія створена у 1997 р. на базі існуючої наукової групи в лабораторії біологічного азоту. Лабораторія спочатку отримала назву «біологічної трансформації азоту», пізніше (у 2015 р.) у зв'язку з появою нових напрямів досліджень, перейменована в лабораторію ґрунтової мікробіології. Тривалий час (з 1997 по 2009 р.) її очолював доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН Віталій Васильович Волкогон. З 2010 р. лабораторією керує кандидат сільськогосподарських наук Світлана Борисівна Дімова.



ДІМОВА
Світлана Борисівна
Завідувач лабораторії,
кандидат
сільськогосподарських наук

Основні напрями досліджень:

- особливості біологічної трансформації азоту в агроценозах за дії біологічних та абіотичних чинників у технологіях вирощування сільськогосподарських культур; обґрунтування екологічно оптимальних систем удобрення за показниками біологічного тестування;
- вплив на перебіг процесів азотфіксації і біологічної денітрифікації передпосівної бактеризації, фітогормонів та їх синтетичних аналогів;
- розробка технологій виготовлення і застосування ефективних мікробних препаратів комплексної дії на основі активних селекціонованих штамів бактерій та оптимальної для рослин кількості фітогормонів;
- розробка технологій керованого компостування органічної речовини (гній, курячий послід) для створення біоорганічних добрив з високим вмістом агрономічно корисних мікроорганізмів та фізіологічно активних сполук;
- спрямованість процесів мінералізації-синтезу органічної речовини у ґрунтах агроценозів за дії антропогенних чинників.

На час створення лабораторії співробітниками були налагоджені газохроматографічні методи

визначення активності процесів азотфіксації і денітрифікації, у ході досліджень запропоновано окремі їх модифікації (визначення ацетиленовим методом активності азотфіксації і біологічної денітрифікації *in situ* [1, 4, 27], потенційної нітрогеназної активності на корінні рослин [4, 32]).

Враховуючи ту обставину, що в ґрунтах за впливу численних факторів здійснюються протилежні в біологічному колообігу азоту процеси – надходження азоту з повітря внаслідок діяльності азотфіксувальних бактерій, і непродуктивні втрати через інтенсифікацію процесів нітрифікації та денітрифікації, з'явилося

розуміння того, що в практичній площині мікробіологічними дослідженнями можна обґрунтувати компромісний варіант: умови, за яких в агроценозах спостерігається висока активність азотфіксації і невисока – біологічної денітрифікації. Ці міркування підсилювалися тією обставиною, що одні й ті ж бактерії можуть здійснювати, залежно від умов їхнього розвитку, як фіксацію атмосферного азоту, так і біологічну денітрифікацію. Зазначені особливості азотного метаболізму представників окремих груп мікроорганізмів обумовили особливу увагу колективу лабораторії до визначення показників мікробної активності в кореневій зоні культурних рослин і як критерію біологічного стану агроценозів, і як вихідних даних при розрахунках екологічно допустимих норм азотних добрив за вирощування тих чи інших сільськогосподарських культур.

На початку проведення запланованих досліджень вже було сформульовано поняття оптимальних для перебігу процесу асоціативної азотфіксації концентрації доз мінеральних добрив як доз, що не перевищують фізіологічних потреб

рослин у зв'язаних сполуках азоту [48, 52]. Нашими дослідженнями на той час [2, 3] було показано, що внесення до ґрунту мінерального азоту сприяє різкому збільшенню чисельності азотфіксувальних бактерій у корневих сферах рослин, однак нітрогеназна активність у діазототрофів при цьому проявляється спочатку у варіантах із внесенням невисоких норм азотних добрив. Мінеральний азот у високих концентраціях репресує синтез нітрогенази у мікроорганізмів, хоча їхня чисельність при цьому є високою. Зростання азотфіксувальної активності в таких варіантах спостерігається через деякий час після внесення добрив – після зниження концентрації зв'язаного азоту до оптимального рівня.

Слід зазначити, що раніше, працюючи над питанням сумісності процесу азотфіксації і азотного мінерального удобрення, мікробіологи ставили перед собою за мету обґрунтувати таку норму добрив, за внесення якої в агроценози надійде найбільша кількість атмосферного азоту, і тим самим поліпшити живлення рослин за рахунок цього джерела. Ми підійшли до даної проблеми з іншого боку, а саме: як за допомогою критерію активності азотфіксації в кореневій зоні рослин



Дослідження на газовому хроматографі проводить старший науковий співробітник, канд. с.-г. наук К. І. Волкогон



Стаціонарний польовий дослід, на базі якого проводяться дослідження

тестувати не лише екологічно оптимальні, але й екологічно допустимі норми азотних добрив [7, 8, 10, 14, 50], адже фізіологічну оптимальність удобрення можна ототожнювати з екологічною. Визначивши продуктивність азотфіксації в кореневій зоні культурних рослин за вегетаційний період, залежно від норм застосованих азотних добрив, та порівнявши з показниками контрольного (без внесення мінерального азоту) варіанту, можемо вважати екологічно допустимими ті, за використання яких продуктивність досліджуваного процесу є вищою, ніж на контролі. Отже, фізіологічно (екологічно) оптимальними дозами добрив вважатимуться ті, які забезпечили найвищу продуктивність процесу. Допустимими – такі, що сприяють надходженню атмосферного азоту в кількості не меншій, ніж це має місце в контрольному варіанті.

Екстраполяція результатів визначення активності азотфіксації можлива також і за іншим принципом: виявлення доз мінерального азоту, які триваліший час сприяють підвищеній порівняно

з контролем активності даного процесу. У цьому випадку можна значно спростити і сам аналіз. Якщо для дослідження продуктивності процесу азотфіксації необхідне проведення складних і значних за обсягами процедур, що включають дослідження *in situ*, то для встановлення реакції ризосферних діазотрофів на ту чи іншу дозу мінеральних добрив у конкретний відрізок часу можна дослідити потенційну нітрогеназну активність у ризосферному ґрунті або безпосередньо на корінні. Останній варіант виявився найзручнішим з кількох міркувань. Насамперед, активність азотфіксації діазотрофів коріння є вищою за показники активності в ризосферному ґрунті. Крім того, відбір зразків ґрунту ризосфери надзвичайно складно стандартизувати. Через це досить часто спостерігаються значні розбіжності в одержаних результатах, які неможливо обрахувати статистично. Використання як об'єкта досліджень відмитого коріння рослин стандартизувати досить просто, адже ступінь відмивання його від частинок ґрунту можна зробити контрольованим. Відбір первинної і вторинної кореневої системи для аналізу також не є складним.

Додатковим тестом доцільності використання азотних добрив у конкретних агроценозах є визначення активності потенційної біологічної денітрифікації на корінні рослин. У цьому випадку принцип відбору доцільних для використання кількостей добрив базується на виборі такої дози, яка не характеризується високими, порівняно з контрольними, показниками емісії закису азоту. При цьому



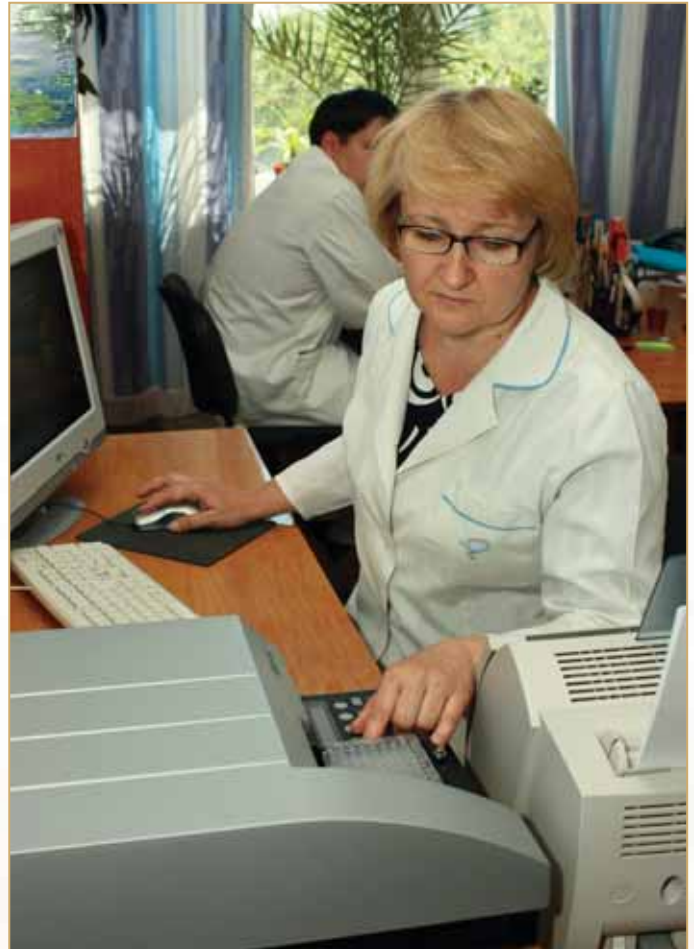
Створені в лабораторії біопрепарати

потенційна активність денітрифікації також визначається на корінні [28].

Таким чином, нами в ході досліджень розроблено методику визначення екологічно допустимих норм мінерального азоту. Її апробовано в польових дослідах з кукурудзою, пшеницею озимою, ячменем ярим, картоплею, злаковими травами за вирощування сільськогосподарських культур на різних типах ґрунтів.

У ході досліджень виникла цілком логічна констатація: значенням екологічно доцільних доз мінерального азоту будуть відповідати і певні показники урожайності сільськогосподарських культур. При цьому говорити про підвищення їх урожайності не можна, адже всі позитивні (щодо збільшення урожайності) зміни будуть супроводжуватися збільшенням норм азотних добрив і характеризуватися як екологічно недоцільні. Однак, фізіологічні потреби в азоті для рослин можна збільшити шляхом застосування таких агроприйомів, які сприяють інтенсифікації їх росту і розвитку. Такими прийомами можуть бути стимулятори росту рослин (як природного походження, так і їх синтетичні аналоги), мікробні препарати, мікроелементи тощо. Принципи зміни фізіологічного оптимуму в мінеральному азоті для культурних рослин нескладні – ініціація розвитку обумовлює активізацію конструктивного метаболізму, відповідно, синтезу біомаси, для формування якої потрібна збільшена, порівняно з традиційними умовами, кількість сполук азоту. При цьому підвищене засвоєння рослинами мінеральних азотних сполук сприяє зменшенню їх вмісту в ризосферному ґрунті і покращенню екологічної ситуації, про що свідчить відновлення активності азотфіксації. За використання чинників активізації росту і розвитку культурних рослин дози азоту, які за традиційних умов є надлишковими, стають фізіологічно (й екологічно) доцільними [6, 9, 23, 51].

Як відомо, застосування фітогормонів ауксинового та цитокінінового класів при вирощуванні бобових рослин активно впливає на перебіг процесу симбіотичної азотфіксації. Такого висновку прийшли ще в середині 60-х років окремі



Вміст фітогормонів методом ІФА досліджує завідувач лабораторії, канд. с.-г. наук С. Б. Дімова

дослідники [41, 42, 44, 45]. Проте на час проведення досліджень застосування зазначених речовин у технологіях вирощування бобових культур було економічно не вигідним, тож ці роботи залишалися тривалий час незатребуваними. Інша ситуація склалася на початок ХХІ ст. Фізіологами рослин та біохіміками було синтезовано низку аналогів фітогормонів, які характеризувалися високою ефективністю і низькою собівартістю. До цього часу були проведені також фундаментальні дослідження, які дали змогу значною мірою зрозуміти механізм дії окремих фізіологічно активних речовин на інокуляційний процес. Працюючи в цьому напрямі, ми показали, що аналогічний вплив ауксини і цитокініни мають також і на формування активних азотфіксувальних асоціацій діазототрофів з небобовими рослинами [5, 13, 21, 29].

Механізм дії фітогормонів на прояв асоціативної азотфіксації в цьому випадку має більшою мірою опосередкований характер [5]. Так, зокрема, фітогормони або їх синтетичні аналоги активно впливають на розвиток кореневої системи, тим самим надаючи азотфіксаторам додаткову нішу для розвитку. Позитивно діючи на хлоропластогенез і процес фотосинтезу, фізіологічно активні речовини забезпечують надходження в кореневу зону збільшеної кількості фотоасимілятів, що також сприяє активізації процесу азотфіксації. Крім того, стимулятори росту, позитивно діючи на розвиток рослин, сприяють збідненню прикореневої зони на сполуки азоту, що є додатковим чинником активізації процесу азотфіксації, адже відомо, що діазотрофи, за умови забезпечення їх вуглецем і дефіциту азоту в середовищі, синтезують нітрогеназу і переходять до активного зв'язування азоту з атмосфери.

На наш погляд [13], це значною мірою пояснює також і роль відомого ефекту забезпечення інокуляційного процесу (як у випадку бобових рослин, так і небобових) великою кількістю інокулюму. Згідно з нашою гіпотезою, оптимальна кількість бактеріальних клітин в інокулюмі може бути значно меншою за загальноприйнятну в мікробіології.

Вважається [43], що бактеріальний титр у біопрепаратах повинен бути не нижчим за 1 млрд. клітин в 1 г субстрату (з розрахунку, що при інокуляції навантаження бактерій на одну насінину повинно бути як мінімум 10⁵ клітин (а для окремих культур – і 10⁶ [35])). Така кількість бактерій підібрана на основі численних досліджень і її ефективність при інокуляції не викликає сумніву. Сумнів є в іншому: а чи потрібна така велика доза інокулюму? Адже відомо, наприклад, що чисельність бульбочок на корінні бобових рослин складає в середньому (і в залежності від виду рослини) всього



Дослід з біокомпостування органічної речовини

30 – 500 одиниць. Тобто, нодуляційний потенціал невисокий і, теоретично, для успішної інокуляції цілком достатньо 30 – 500 бактеріальних клітин. Якщо ж зважити на дослідження, які свідчать про виникнення у рослин системної негативної відповіді до додаткового інфікування після утворення перших бульбочок [49], та повідомлення щодо існування фіксованої кількості зв'язувальних сайтів для азоспірил на одиницю кореневої поверхні [46], прийдемо висновку, що 99,9 % бактеріальних клітин інокулюму не бере безпосередньої участі в інокуляційному процесі. Навіть якщо взяти до уваги умови конкурентного середовища в зоні паростків, цей відсоток не буде помітно знизим. Між тим, до певної межі існує пряма кореляція між титром інокулюму і ефективністю бактеризації. Є.М. Мішустін і В.К. Шильникова [37, 38], посилаючись на думку Хофера, допускають, що наявність великої кількості бактеріальних клітин в інокулюмі необхідна для забезпечення низки супутніх інфекції процесів. Здається, що пояснення цьому можемо знайти при врахуванні здатності ризосферних бактерій до продукування речовин гормональної природи. Саме такий «зависокий» бактеріальний титр може забезпечувати оптимальні умови для інокуляційного процесу не за рахунок чисельності клітин, а завдяки наявності в середовищі бактеріальних фітогормонів, концентрацію яких забезпечує надмірна кількість клітин. Вірогідність цього твердження підсилюють експериментальні дані, які свідчать, що залежність чисельності бульбочок у бобових, маси рослин, вмісту азоту і урожайності від зростаючих доз інокулянта має параболічний характер [47]. Як відомо, саме така залежність (доза-ефект) розвитку рослин спостерігається при застосуванні різних концентрацій регуляторів росту рослин. Зважаючи на ці міркування, ми допускаємо, що біологічні препарати можуть вміщувати відносно невелику кількість бактеріальних клітин (але, звичайно, вищу за кількість аборигенних бактерій відповідного виду) та оптимальний, контрольований рівень фізіологічно активних речовин. Це може гарантувати забезпечення повноцінного інокуляційного

процесу, що значною мірою знаходить підтвердження у результатах наших досліджень.

Спираючись на одержані результати впливу фізіологічно активних речовин на процес формування і функціонування азотфіксувальних симбіозів і асоціацій, ми запропонували новий спосіб створення мікробних препаратів, суть якого зводиться до забезпечення в інокулюмі як певної кількості клітин активного азотфіксатора, так і оптимальну для рослин кількість ауксинів і цитокінінів [19, 20, 30, 39]. За використання зазначених методичних підходів нами створено мікробні препарати Ризогумін (для сої і гороху) на основі відповідних видів і штамів бактерій, Мікрогумін для ячменю ярого і вівса (за участі *Azospirillum brasilense*) і Біогран для картоплі і овочів (на основі азоспірил і азотобактера, відповідно). Використання новостворених препаратів є ефективнішим за аналоги, що підтверджено в численних польових і виробничих дослідах як в Інституті сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН, так і в інших наукових установах [12, 15, 22]. На наш погляд, такими підходами щодо створення мікробних препаратів вдалося вирішити проблему нестабільної дії їх на продукційний процес сільськогосподарських культур. За відомими даними І. Генералова, мікробні препарати середини ІХХ ст. могли забезпечити позитивний прояв не більше, ніж у 40% випадків їхнього застосування. Ефективність біопрепаратів, створених наприкінці ХХ ст., за даними А. Хотяновича [43], зростає до 65%, проте навіть за такої їхньої якості, це не могло задовольняти виробництво, адже залишається біля 35% ризику неуспішного їх застосування. Використання ж у технологіях вирощування сільськогосподарських культур препаратів, створених за новою технологією, здатне забезпечити 100%-у їх ефективність. Це пояснюється оптимальним поєднанням активного штаму мікроорганізму з фізіологічно активними речовинами. За таких умов спостерігається синергічна дія обох компонентів біопрепаратів на продукційний процес культур. За прояву негативних кліматичних та інших чинників на інокуляційний процес,



Колектив лабораторії ґрунтової мікробіології (зліва направо): Шевченко Л. А., канд. с.-г. наук, старший науковий співробітник, Штанько Н. П., провідний мікробіолог; Сидоренко В. П., аспірант; Калита А. К., лаборант-мікробіолог; Волкогон К. І., канд. с.-г. наук, с.н.с., старший науковий співробітник; Волкогон В. В., д-р. с.-г. наук, професор, академік НААН, начальник відділу с.-г. мікробіології; Дімова С. Б., канд. с.-г. наук, завідувач лабораторії; Луценко Н. В., провідний мікробіолог; Земська І. А., провідний мікробіолог

коли дія бактеріального компонента може бути знівельованою, ефективність препарату може забезпечити фізіологічно активний компонент (хоча і в меншій мірі, проте достовірний).

Складним для реалізації ідеї виробництва нових біопрепаратів комплексної дії є визначення необхідної кількості фізіологічно активних речовин, адже стандартизувати синтез фітогормонів при вирощуванні діазотрофів практично неможливо. При цьому кожна партія препаратів буде відрізнятися за вмістом ауксинів і цитокінінів. Отже, процес виготовлення препаратів повинен бути строго контрольованим, а кожна партія їх тестуватися за вмістом фітогормонів. Для здійснення цієї процедури повинні застосовуватися експрес-методи. Існуючі в фізіології рослин методи тестування вмісту ауксинів і цитокінінів базуються на реакціях проростків рослин на дію досліджуваних

речовин [36, 40], але недоліками цих методів є їхня відносна точність і значна тривалість (кілька днів). У зв'язку з цим ми взяли до уваги імуноферментні методи визначення вмісту фітогормонів [33], адаптувавши їх до досліджуваних об'єктів [31, 32]. Використання зазначених методичних підходів дало змогу інструментально визначити оптимальне навантаження ауксинів і цитокінінів на проростки і дотримуватися цих параметрів за використання комплексних біопрепаратів [34]. При цьому ми вважаємо, що кількість фітогормонів повинна бути дослідженою для кожного з існуючих мікробних препаратів, контролюватися і, за необхідності, бути доведеною до визначених показників розчинами комерційних фітогормонів.

У своїх дослідженнях ми звернули увагу на необхідність визначення фізіологічно доцільних агрофонів для сільськогосподарських культур

при застосуванні в технологіях їх вирощування мікробних препаратів (у т. ч. створених у лабораторії). У залежності від застосованого мікробного препарату для конкретної сільськогосподарської культури, оптимальні агрофони відрізняються, що відображено в низці публікацій [10, 12, 15, 17, 18]. Цікаво, що застосування комплексних біопрепаратів, створених в лабораторії, більшою мірою впливає на ступінь засвоєння рослинами діючої речовини з добрив, порівняно з аналогами, які містять лише клітини бактеріального штаму. Це показано як за використання прямих методів, зокрема, ізотопного розбавлення (з ^{15}N) [15, 16], так і результатами, одержаними в лізіметричних установках [18]. Можемо стверджувати, що застосування по оптимальних агрофонах мікробних препаратів, які активізують засвоєння азоту з добрив, знижуючи тим самим кількість доступного субстрату для денітрифікувальних бактерій, є своєрідним фактором зниження біологічної денітрифікації. Водночас, встановлено, що застосування біопрепаратів по високих агрофонах стимулює активність денітрифікації, що пояснюється змінами у синтезі ферментів азотного обміну. За цих умов інокуляція стає чинником підсилення активності процесу біологічної денітрифікації [17].

Одним із напрямів досліджень лабораторії є створення технологій керованого компостування органічної речовини з місцевими фосфоритами. Необхідність проведення цих досліджень обумовлена появою реальної проблеми із забезпеченням сільськогосподарських культур сполуками такого елемента як фосфор. В Україні відсутні родовища фосфоритів із високим вмістом P_2O_5 , тож використання сировини для виробництва фосфорних добрив є нерентабельним, а залучення імпортованих фосфоритів суттєво збільшує собівартість добрив. У цих умовах проблему оптимізації фосфорного живлення сільськогосподарських культур можна вирішити хоча б частково на регіональному рівні, підвищивши доступність фосфору місцевих фосфоритів. Недорогим прийомом збільшення рухомості фосфатів є їх компостування з органічною речовиною, наприклад, гноєм. Проте розчинність

фосфоритів при цьому збільшується недостатньо, що спричинило пошуки мікробіологічних шляхів вирішення проблеми. У численних наукових установах її вирішують по різному, проте, однією із спільних рис запропонованих технологій є інтродукція в компости активних фосфатмобілізувальних мікроорганізмів після завершення самого процесу компостування. Ми підійшли до цієї проблеми дещо інакше. Дослідивши склад фосфатмобілізувальних бактерій у гної та особливості їх сукцесії в процесі компостування, прийшли висновку про різну кількість найактивніших серед них - бактерій роду *Pseudomonas* та їх активність на різних етапах дозрівання компостів [24-26]. Селекціоновані активні штами псевдомонад, згідно розробленої технології, залучаються до процесу компостування на другий місяць компостування, у сприятливий сукцесійний період, що гарантує їх домінування в субстраті протягом тривалого часу. Оскільки відібрані штами здатні, крім продукування органічних кислот, до синтезу фітогормонів, одержані компости характеризуються як підвищеним вмістом рухомих сполук фосфору, так і значною кількістю ауксинів і цитокінінів. Застосування нового біодобрива, що отримало назву Фосфогумін, забезпечує суттєве зростання урожайності окремих овочевих культур [24].

Працюючи над питаннями компостування органічної речовини, ми зіткнулися з проблемою забруднення довкілля через бурхливий розвиток птахівничої галузі в Україні, що призвело до значного накопичення відходів виробництва – на рівні 1,5 млн тон пташиного посліду на рік. Застосування пташиного посліду в нативному вигляді обмежене через низку причин (санітарних, фізіологічних та ін.), тож виходом із ситуації є його компостування з подальшим використанням у системах удобрення сільськогосподарських культур.

У ході проведення досліджень нами селекціоновано асоціацію активних штамів *Trichoderma harzianum* 128/1 і *T. harzianum* 128/2, інтродукція яких до оптимізованого за співвідношенням N/C субстрату на основі курячого посліду у відповідні строки сукцесійних змін в угрупованнях

мікроорганізмів, забезпечує їх активний розвиток. При цьому в субстраті накопичується значна кількість ауксинів і цитокінінів. Отримане за розробленою технологією біоорганічне добриво має покращені агрохімічні та біологічні характеристики, що позитивно діє на формування урожайності сільськогосподарських культур.

Починаючи з 2015 р. в лабораторії проводяться дослідження мікробіологічних аспектів трансформації органічної речовини ґрунту. Визначається спрямованість процесів за дії органічних добрив різного походження (підстилковий гній великої рогатої худоби, післязбиральні рештки сільськогосподарських культур, біомаса проміжних сидератів та їх поєднання), а також мінеральних добрив, у т. ч. й при застосуванні по фоні органічних добрив. У ході досліджень ми зіткнулися з проблемою достовірності оцінки спрямованості процесів мінералізації-синтезу органічної речовини у ґрунтах агроценозів. Як відомо, попри високу точність хімічних методів визначення вмісту органічної ґрунтової речовини, встановити зміни в перебігу досліджуваних процесів за дії тих чи інших чинників доволі складно через відносно високий фоновий вміст органічної речовини і тривалість її трансформації. У зв'язку з цим, у ході досліджень нами запропоновано нові методичні рішення щодо визначення спрямованості процесів мінералізації-синтезу в ґрунтах за використання газохроматографічних методів.

Як відомо, завдяки тісно пов'язаним циклам вуглецю та азоту, антропогенні чинники впливу на процеси деструкції органічної речовини і синтезу її *de novo* в наземних екосистемах будуть безпосередньо впливати не лише на процеси трансформації С у ґрунтах, але і на обмін біосфера – атмосфера газоподібними азотними сполуками. У зв'язку з цим ми запропонували за використання методів газової хроматографії визначати інтенсивність емісії N_2O і CO_2 залежно від дії досліджуваних чинників для оцінки їх перспектив.

Для порівняння при цьому враховуються значення т.з. «еталонного» ґрунту. Зважаючи на те, що врівноваженими процесами характеризуються

природні фітоценози, об'єктивнішим є порівняння емісії газів не з контрольними варіантами польових дослідів, а з відповідними показниками перелогів або цілинних ґрунтів. Поняття ґрунтового еталону обґрунтовано в моніторингових дослідженнях стану ґрунтів і активно використовується в практиці екологічних досліджень.

Базуючись на емісійному співвідношенні $g\ N-N_2O/kg\ C-CO_2$ ми запропонували (Volkogon et al., 2019) розраховувати індекси «мінералізації-синтезу» як відношення модуля різниці емісійного співвідношення $g\ N-N_2O/kg\ C-CO_2$ ґрунту «еталонної» ділянки (переліг, цілина) і ґрунту агроценозу до показника емісійного співвідношення $g\ N-N_2O/kg\ C-CO_2$ «еталонної» ділянки:

$$I_{M-C} = (E_{e.d.} - E_{a.p.o.}) / E_{e.d.}$$

де I_{M-C} – індекс мінералізації-синтезу;

$E_{e.d.}$ – емісійне співвідношення $g\ N-N_2O/kg\ C-CO_2$ «еталонної» ділянки;

$E_{a.p.o.}$ – емісійне співвідношення $g\ N-N_2O/kg\ C-CO_2$ в агроценозі.

За інтенсивних мінералізаційних процесів у ґрунті показники I_{M-C} будуть мати від'ємні значення. Наближення значень індексу до «0» буде свідчити про стан врівноваженості досліджуваних процесів. За умови, коли синтетичні процеси у ґрунті домінують над мінералізаційними, отримані результати матимуть знак «+».

Запропонована методика широко апробована у дослідженнях і може вважатися як додатковий до агрохімічних визначень експрес-тест спрямованості процесів трансформації органічної речовини ґрунту (Volkogon et al., 2020).

Сьогодні лабораторія проводить інструментальні дослідження особливостей біологічної трансформації органічної речовини в умовах стаціонарних дослідів (лучно-чорноземний і дерново-підзолистий ґрунти, відповідно) з різними системами удобрення, включно з органічною, органо-мінеральною, мінеральною (різної інтенсивності). Продовжуються дослідження особливостей керованого компостування органічної речовини.

Лабораторія пройшла сертифікацію на відповідність вимогам ДСТУ ISO 10012:2005 «Системам

керування вимірюваннями. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання» (Свідоцтво № 35/2021 від 30.06.2021 р.).

У штаті лабораторії працюють:

- завідувач лабораторії, кандидат с.-г. наук Світлана Борисівна Дімова;
- старший науковий співробітник, кандидат с.-г. наук, старший науковий співробітник Катерина Іванівна Волкогон;
- старший науковий співробітник, кандидат с.-г. наук Любов Анатоліївна Шевченко;
- провідний мікробіолог Надія Петрівна Штанько;
- провідний мікробіолог Надія Василівна Луценко;
- провідний мікробіолог Ірина Анатоліївна Земська;
- лаборант-мікробіолог Алла Костянтинівна Калита.

В лабораторії проходить навчання аспірант Василь Павлович Сидоренко.

Основні публікації співробітників лабораторії:

1. Волкогон В.В. Способ определения активности азотфиксации в почве. Микробиол. ж. 1984. 46, №3. С. 89–91.
2. Волкогон В.В. Влияние минерального азота на диазотрофы зоны корней райграсса и костреча // Микроорганизмы в сель. хозяйстве. Респ. конф. (Кишинев, 1988). Кишинев, 1988. С. 123–124.
3. Волкогон В. В. Влияние минерального азота на активность ассоциативной азотфиксации. Почвоведение. 1997. №12. С. 1486–1490.
4. Волкогон В. В. Методичні рекомендації по визначенню активності азотфіксації в ґрунті та кореневій зоні рослин ацетиленовим методом. Чернігів: ЦНТЕІ, 1997. 12 с.
5. Волкогон В. В. Влияние стимуляторов роста растений на активность процесса ассоциативной азотфиксации. Микробиол. ж. 1997. 59, № 4. 1997. С. 70–78.
6. Волкогон В. В. Вплив інокуляції та рістстимуляторів на фізіологічний оптимум мінерального

азоту для рослин. Зб. наук. праць Інст. землеробства УААН. 1997. вип.2. С. 85–88.

7. Волкогон В. В. Мікробіологічні аспекти оптимізації азотного удобрення сільськогосподарських культур. К.: Аграрна наука, 2007. 144 с.

8. Волкогон В. В. Методологічні аспекти визначення екологічно доцільних доз мінерального азоту в землеробстві. Агрохімія і ґрунтознавство. 2006. Спецвипуск, кн. 3. С. 17–19.

9. Волкогон В. В. Мікробні препарати як фактор підвищення засвоюваності рослинами мінеральних добрив. Сільськогосподарська мікробіологія. 2007. №4. С. 21–30.

10. Волкогон В. В. Удобрення кукурудзи за інтенсивністю біологічної трансформації азоту ризосфери. Зб. наук. праць ННЦ «Інститут землеробства УААН». 2008. Спецвипуск. С. 112–120.

11. Волкогон В. В., Гусев О. В. Роль мінерального азоту в регулюванні активності асоціативної азотфіксації. Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть. Т.1. Київ, 2001. С. 241–244.

12. Волкогон В. В., Дімова С. Б. Біопрепарати комплексної дії при вирощуванні картоплі. Вісник аграрної науки. 2004. №10. С.29–33.

13. Волкогон В. В., Сальник В. П. Значення регуляторів росту рослин у формуванні активних азотфіксувальних симбіозів та асоціацій. Фізіологія і біохімія культ. рослин. 2005. Т.37, №3. С. 187–197.

14. Волкогон В. В., Волкогон К. І., Штанько Н. П., Луценко Н. В. Перспектива використання мікробіологічних методів у визначенні екологічно доцільних доз мінерального азоту для пшениці озимої. Агроекологічний журнал. 2008. Спецвипуск. С. 50–55.

15. Волкогон В. В., Гусев О. В., Волкогон К. І. Особливості азотного живлення ячменю при застосуванні нового біологічного препарату мікрогуміну. Живлення рослин: теорія і практика. Київ: Логос, 2005. С. 279–284.

16. Волкогон В. В., Гусев О. В., Давидова О. Є. та ін. Вивчення особливостей азотного живлення ячменю методом ізотопного розбавлення при застосуванні триману 1, мінеральних



добрив та інокуляції. Физиология и биохимия культ. растений. 2004. Т. 36, №5. С. 444–451.

17. Волкогон В. В., Дімова С. Б., Волкогон К. І. та ін. Особливості процесу денітрифікації в агроценозах за впливу мінеральних добрив та мікробних препаратів. Сільськогосподарська мікробіологія. 2009. №10. С. 7–17.

18. Волкогон В. В., Дімова С. Б., Волкогон К. І. та ін. Вплив мікробних препаратів на засвоєння культурними рослинами поживних речовин. Вісник аграрної науки. 2010. № 5. С. 25–28.

19. Волкогон В. В., Дімова С. Б., Волкогон К. І., Борулько Р. О. Нові принципи створення ефективних мікробних препаратів. Міжн. наук. конф. «Мікробні біотехнології» (Одеса, 11-15 вересня 2006р.). Одеса. С. 45.

20. Волкогон В. В., Дімова С. Б., Волкогон К. І., Комок М. С. Нові біологічні препарати комплексної дії на основі активних штамів азотфіксуювальних бактерій та фізіологічно активних речовин. Фізіологія рослин: проблеми та перспективи розвитку. К.: Логос, 2009. С. 393–403.

21. Волкогон В. В., Дульнев П. Г., Ковтун Е. П. и др. Влияние фитогормонов и их синтетических аналогов на активность ассоциативной азотфиксации. Микробиология. 1996. 65, №6. С. 850-854.

22. Волкогон В. В., Надкернична О. В., Ковалевська Т. М. та ін. Мікробні препарати у землеробстві: теорія і практика / За ред. В.В.Волкогона. К.: Аграрна наука, 2006. 312 с.

23. Волкогон В.В., Миняйло В.Г., Онищенко Л.И и др. Влияние молибдена на активность процесса ассоциативной азотфиксации. Физиология и биох. культ. раст. 1997. 29, № 1. С. 32–34.

24. Волкогон В. В., Гаценко М. В., Луценко Н. В., Токмакова Л. М. Мікробіологічні аспекти біокомпостування гною ВРХ з фосфоритами за участі фосфатмобілізуювальних бактерій. Сільськогосподарська мікробіологія. 2010. №11. С. 75–90.

25. Гаценко М.В., Волкогон В.В. Оптимізація вермикомпостування органіки, збагаченої фосфоритами, за участі фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів. Мікробіологічний ж. 2010. Т.72, № 3. С. 14–18.

26. Гаценко М. В., Луценко Н. В., Волкогон В. В. Роль фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів в оптимізації вермикомпостування органіки, збагаченої фосфоритами. Основи формування продуктивності с.-г. культур за інтенсивних технологій вирощування. Зб. Уманського ДАУ. 2008. С. 229–234.

27. Гусев О. В., Волкогон В. В. Модификация ацетиленового метода определения полевой активности денитрификации. Агроекологічний журнал. 2002. №3. С. 57–61.

28. Гриник І. В., Заришняк А. С., Волкогон В. В. та ін. Визначення фізіологічно (екологічно) доцільних доз мінерального азоту в технологіях вирощування сільськогосподарських культур (науково-методичні рекомендації). Київ, 2010. 33 с.

29. Давыдова О. Е., Вещицкий В. А., Мальцева Н. Н., Волкогон В. В. и др. Новые элементы биорегуляции для устойчивого развития в агроэкосистемах. К.: Наукова думка, 2004. 320 с.

30. Дімова С. Б., Волкогон В. В., Луценко Н.В. Технологічні особливості виготовлення та застосування нового біологічного препарату біограну. Сільськогосподарська мікробіологія. 2006. № 4. С. 104–116.

31. Дімова С. Б., Дмитрук О. О., Мамчур О. Є. та ін. Імуноферментне визначення вмісту індолілоцтової кислоти в культуральній рідині мікроорганізмів. Сільськогосподарська мікробіологія. 2009. №9. С. 179–187.

32. Експериментальна ґрунтова мікробіологія / За наук. ред. В. В. Волкогона. К.: Аграрна наука, 2010. 464 с.

33. Иммуноферментный анализ регуляторов роста растений: применение в физиологии растений и экологии. Уфа: БНЦ Ур АН СССР, 1990. 164 с.

34. Комок М. С., Дімова С. Б., Волкогон В. В. Оптимізація вмісту фітогормонів у біопрепараті комплексної дії Ризогуміні. Сільськогосподарська мікробіологія. 2010. №12. С. 27–37.

35. Макарова Н.М., Доросинский Л.М. Влияние количества вносимых бактерий на конкурентную

способность штаммов *Rhizobium*. Бюл. ВНИ-ИСХМ. № 18. С. 17–19.

36. Методические рекомендации по определению фитогормонов. Киев, Институт ботаники АН УССР. 1988. 78 с.

37. Мишустин Е.Н., Шильникова В.К. Биологическая фиксация атмосферного азота. М.: Наука, 1968. 530 с.

38. Мишустин Е. Н., Шильникова В. К. Клубеньковые бактерии и инокуляционный процесс. М.: Наука, 1973. 240 с.

39. Пат. 47304 Україна С05F11/08. Спосіб одержання бактеріального препарату / В. В.Волкогон, В.І.Лохова, К.І. Волкогон. Заявл. 31.10.2001; Опубл. 16.05.2005, Бюл. №5.

40. Плотникова І.В. Біологічні методи визначення ауксинів. Український ботанічний журнал. 1977. Т. XXXIV, № 6. С. 630-631.

41. Тагиев В. Д. Влияние гетероауксина на активность и вирулентность клубеньковых бактерий люцерны. Изв. АН СССР, сер. биол. 1965. №2. С. 291–292.

42. Тагиев В. Д. Действие гетероауксина на активность клубеньковых бактерий гороха в разные фазы развития растений. Изв. АН СССР, сер. биол. 1967. С. 448–451.

43. Хотянович А. В. Методы культивирования азотфиксирующих бактерий, способы получения и применения препаратов на их основе. Л-д, 1991. 60 с.

44. Чайлахян М. Х., Мегребян А. А., Карапетян Н. А., Каладжян Н. Л. Ростовые вещества в выделениях клубеньковых бактерий. Докл. АН Арм. ССР. 1965. XL, №5. С. 307–314.

45. Чайлахян М. Х., Мегребян А. А., Карапетян Н. А., Каладжян Н. Л. Влияние гиббереллинов и гетероауксина на рост бобовых растений и образование клубеньков. Изв. АН Арм. ССР. 1967. XIV. С. 25.

46. Gafny R., Okon Y., Kapulnik Y., Fiscei M. Adsorption of *Azospirillum brasilense* to corn roots. *Soil Biol. Biochem.* 1986. V.18, №1. P. 69-75.

47. Jagdale N. G., More B. B., Konde B. K., Paril P. L. Effect of different doses of *Rhizobium* inoculant

on nodulation, dry matter weight nitrogen content and yield of Bengal gram. *Food Farm and Agr.* 1980. V.12, №2. P. 216–217.

48. Ladha J.K., Tiror A.C., Caldo G., Watanabe I. Rice-plant-associated N₂-fixation as affected by genotype, inorganic N fertilizer and organic manure. *Transaction of XIII Congr. Int. Soc. Soil Sci. Hamburg*, 1986. V.2. P. 598-599.

49. Sargent L., Shizh H., Barry R. et al. Split-root assays using *Trifolium subterraneum* show that *Rhizobium* infection induces a systemic response that can inhibit nodulation of another invasive *Rhizobium* strain. *Appl. Environ. Microbiol.* 1987. V.53, №7. P. 1611–1619.

50. Volkogon V. V. Borulko R. O. Application of microbiological methods for determination of ecologically optimal doses of mineral nitrogen fertilizers under maize. *Int. sci. conf. «S.P. Kostychev and contemporary agricultural microbiology»* (October 8-12, 2007, Yalta): Abstr. P. 104.

51. Volkogon V. V. The increase of physiological optimum of nitrogen for plants by inoculation and use of plant growth of regulators. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2008. № 8. С. 17–31.

52. Volkohon V. V., Pyrig O. V., Volkohon K. I., Dimova S.B. Methodological aspects of determining the processes of organic matter mineralization synthesis in croplands. *Agricultural Science and Practice*. 2019; V. 6(1). P. 3–9.

53. Volkohon V. V., Pyrig O. V., Dimova S. B., Volkohon K. I., Focus of mineralization-synthesis processes of the organic matter in the leached chernozem while cultivating potatoes on different fertilization backgrounds. *Agricultural Science and Practice*. 2020. V.7 (№1). P. 40–48.

54. Umarov M., Shabaev V., Smolin V., Aseeva O. Incorporation of «biological» nitrogen by nonleguminous plants during associative N₂-Fixation. *IX Int. Symp. Soil Biol. and conservatuijn of the Biosphere. Pap. Sorpon*. 1985. P. 65.