

ФЕРМЕНТАТИВНА АКТИВНІСТЬ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНА СПРЯМОВАНІСТЬ МІКРОБНОГО БІОМУ ҐРУНТУ В АГРОЦЕНОЗАХ БУРЯКА ЦУКРОВОГО

*М. В. Патика¹, Ю. П. Борко², І. І. Ібатуллін¹, О. Ю. Колодяжний¹,
С. П. Танчик¹*

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 13, Київ, 03041, Україна

² ННЦ «Інститут землеробства НААН України»,
вул. Машинобудівників 2-Б, смт. Чабани, Києво-Святошинський район, Київська
область, 08162, Україна

Метою роботи було визначення ферментативної активності чорноземного типового, вмісту у ньому гумусу та оцінка спрямованості мікробних процесів у ризосфері буряка цукрового за різних агрозаходів. **Методи.** Вміст гумусу визначено за методом Тюріна у модифікації Сімакова, таксономічну структуру прокариот мікробіому ґрунту – методом піросеквенування. Поліфенолоксидазну і пероксидазну активності оцінено за Галстяном у модифікації Чундерової, інвертазну – за Купревичем та Щербаковою, спрямованість мікробних процесів у ґрунті – за допомогою відповідних коефіцієнтів. **Результати.** Встановлено, що ферментативна активність чорноземного типового та спрямованість мікробних процесів у ризосфері буряка цукрового залежить від фази онтогенезу культури та агрозаходів. Визначено, що біологічна система землеробства на фоні поверхневого обробітку ґрунту, порівняно з іншими агрозаходами, сприяє підвищенню вмісту гумусу та ферментативної активності ґрунту. Застосування біологічної системи землеробства зумовлює збільшення мікробного різноманіття в ризосфері буряка цукрового порівняно з інтенсивною, за якої спостерігається збіднення поліморфізму виявлених прокариот чорноземного типового. Визначено, що за біологічної та екологічної систем землеробства процеси синтезу органічної речовини домінують над деструкцією, тоді як за інтенсивної системи підвищується асиміляція мікроорганізмами поживних речовин із ґрунту. Іntenсивність мікробної трансформації органічної речовини підвищується у напрямі від інтенсивної до біологічної системи землеробства. **Висновки.** Застосування екологічної та біологічної систем землеробства, на відміну від інтенсивної, сприяє зростанню ферментативної активності ґрунту і видового різноманіття мікробіоти, оптимізації гумусонакопичення і перебігу процесів трансформації органічних сполук.

Ключові слова: мікробні процеси, пероксидаза, поліфенолоксидаза, інвертаза, гумус, метагеном, чорнозем типовий, ризосфера, буряк цукровий, агрозаходи.

Родючість ґрунту формується під впливом складної системи природних та антропогенних факторів, провідна роль серед яких належить біохімічній діяльності мікроорганізмів [3]. Інтегральним показником родючості ґрунтів є забезпеченість їх гумусом, особлива роль якого пояснюється різностороннім впливом на ґрунтову мікробіоту та агрономічно цінні властивості ґрунту, що знаходяться у прямій залежності від вмісту органічної речовини, 90 % якої припадає на частку гумусу [12, 18].

Необхідною умовою збереження та відтворення родючості ґрунту, забезпечення екологічної рівноваги агроєкосистем є збалансованість життєдіяльності мікробного комплексу ґрунтового покриву [11]. Важливою складовою оцінки збалансованості функціонування мікробіоти є дослідження її ферментативної активності та аналіз спрямованості мікробних процесів, які відображають ступінь антропогенного навантаження і виступають важливими показниками змін агрофізичних та хімічних властивостей ґрунту, а також характеризують умови живлення, росту та розвитку рослин, тому використовуються для характеристики інтенсивності метаболізму мікроорганізмів [4, 9]. Крім того, інтенсивність продукування ферментів угрупованнями мікроорганізмів дає уявлення та розкриває механізми функціонування біологічної складової ґрунту, а також дозволяє визначити напрям мікробних процесів перетворення речовин і формування гумусового горизонту, виявити зміни властивостей наземних екосистем на ранніх етапах, задовго до появи хімічних, фізичних і морфологічних ознак таких змін, тому є на сьогодні найбільш чутливим і доступним показником для оцінки стану антропогенно змінених екосистем (родючості, біогенності та рівня деградації ґрунту) [2, 19].

Варто зазначити, що при дослідженні біологічних процесів ґрунтоутворення та механізмів формування родючості особлива увага приділяється вивченню мікробних окисно-відновних ферментів – пероксидази і поліфенолоксидази, які беруть участь у гуміфікації, визначають процеси розкладу та синтезу органічних сполук ароматичного ряду і, відповідно, характеризують направленість ґрунтових процесів [6, 15]. З ферментів класу гідролаз найбільш точним показником, який відображає каталіз гідролітичного розкладу складних вуглець- та азотовмісних сполук із перетворенням їх на доступні для рослин та мікроорганізмів форми, є інвертаза, активність якої також свідчить про рівень природної родючості та окультурювальний вплив агротехнічних заходів [8].

Зважаючи на вищезазначене, необхідним є дослідження ферментативної активності мікробіоти антропогенно змінених агроєкосистем і спрямованості біологічних процесів у них за застосування сучасних агрозаходів, що дозволить розкрити механізми функціонування біологічної складової ґрунту, а також оцінити та спрогнозувати загальний напрям ґрунтоутворення і стан екосистем у цілому.

Зважаючи на актуальність проблеми, **метою роботи** було визначити ферментативну активність ґрунту та вміст у ньому гумусу, а також оцінити спрямованість мікробних процесів у ризосфері буряка цукрового в основні фази його вегетації за різних систем землеробства.

Матеріали і методи. Дослідження мікробного комплексу ризосфери буряка цукрового (*Beta vulgaris* L.) проводили на базі стаціонарного

польового досліджу кафедри землеробства та гербології НУБіП України (ВП «Агрономічна дослідна станція») у зоні Лісостепу в зерно-бураковій сівозміні. Вплив систем землеробства на мікробні процеси трансформації органічної речовини чорнозему типового вивчали на фоні поверхневого та диференційованого обробітків ґрунту в основні фази онтогенезу буряка цукрового: сходи, змикання листків у міжрядді, технічна стиглість. Інтенсивна система землеробства (контроль) передбачала внесення на 1 га сівозмінної площі 12 т гною та мінеральних добрив у дозі $N_{92}P_{100}K_{108}$ на фоні інтенсивного застосування хімічних засобів захисту рослин, а саме: Дуал Голд (S-метолахлор, 960 г/л) – 1,3 л/га, Бі-58 (диметоат, 400 г/л) – 1,0 л/га, Фастак (альфаціперметрин, 100 г/л) – 0,25 л/га, Селект (флудиоксоніл, 25 г/л + дифеноконазол, 25 г/л + тіаметоксам, 262,5 г/л) – 1,6 л/га, а також Бетанал Експерт (Фенмедифам, 91 г/л + десмедифам, 71 г/л + етофумезат, 112 г/л) – 1,0 л/га, Карібу (трифлусульфурон-метил, 500 г/кг) – 0,03 кг/га, ПАР Тренд (Етоксілат нонілфенол, 985 г/л) – 0,3 л/га з трьохкратним їх внесенням у поле протягом вегетації культури. За екологічної системи вносили 24 т/га органічних добрив (12 т гною, 6 т нетоварної частини врожаю, 6 т маси післяжнивних сидератів) і мінеральні добрива у дозі $N_{46}P_{49}K_{55}$. Хімічні препарати для захисту рослин застосовували за критерієм еколого-економічного порогу шкодочинності шкідливих організмів. Так, інсектициди та гербіциди використовували у нормі: Дуал Голд – 1,3 л/га, Бі-58 – 1,0 л/га, Фастак – 0,25 л/га, Селект – 1,6 л/га і двократно вносили у поле препарати Бетанал Експерт – 1,0 л/га, Карібу – 0,03 кг/га, ПАР Тренд – 0,3 л/га. Біологічна система землеробства передбачала внесення 24 т/га ріллі органічних добрив у сівозміні без застосування промислових агрохімікатів [16].

Вміст загального гумусу визначали за методом Тюріна у модифікації Сімакова [5]. Поліфенолоксидазну і пероксидазну активності оцінювали за Галстяном у модифікації Чундерової [10], інвертазну – за Купревичем та Щербаковою [17]. Біохімічний коефіцієнт гумусонакопичення ($K_{гум.}$) визначали за Муромцевим як відношення поліфенолоксидазної активності ґрунту до пероксидазної активності [17]. Таксономічну структуру прокаріот чорнозему типового визначали методом піросеквенування [1, 20]. Спрямованість мікробних процесів у ґрунті визначали за допомогою коефіцієнтів мінералізації-імобілізації азоту, оліготрофності, педотрофності, трансформації органічної речовини ґрунту [7, 17]. Обробку результатів досліджень проводили у Ms Excel.

Результати і обговорення. Результати досліджень показали, що вміст гумусу чорнозему типового в агроценозі буряка цукрового був високим і становив 4,69–5,08 %, що є оптимальним для росту і розвитку культури. При цьому сезонна динаміка його запасів варіювала у межах 0,02–0,32 %. Встановлено, що системи землеробства мали диференціацію за вмістом гумусу, який був вищий за застосування інтенсивної та біологічної систем землеробства на фоні поверхневого обробітку ґрунту (4,90 і 4,88 %). Проте від середини до кінця вегетації буряка цукрового найвищі показники вмісту гумусу (5,04–5,08 %) були виявлені за застосування біологічної системи на фоні поверхневого обробітку, що свідчить про позитивний вплив на родючість ґрунту систематичного внесення органічних добрив.

При цьому за поверхневого обробітку вміст гумусу протягом онтогенезу культури був дещо вищий, ніж за диференційованого, що пов'язано з накопиченням поживних речовин у верхньому шарі чорнозему типового.

Ферментативна активність ґрунту протягом онтогенезу буряка цукрового мала тенденцію до зростання від посіву до збирання врожаю культури, що пов'язано з біологічними особливостями рослин та інтенсивністю продукування кореневих ексудатів. Так, у фазу змикання листків у міжрядді активність продукування окисно-відновних ферментів зростала до 12,5 % порівняно з фазою сходів (крім пероксидазної активності у варіанті досліду біологічна система землеробства + диференційований обробіток ґрунту), у фазу технічної стиглості – до 23,1 % відповідно.

Встановлено, що у ризосфері буряка цукрового пероксидазна активність ґрунту, яка характеризує рівень деструкції органічної речовини і каталізує процеси окиснення різноманітних органічних перекисних сполук, які виділяються у результаті життєдіяльності мікробіоти і коренів вищих рослин, протягом онтогенезу культури варіювала у межах 0,91–1,08 мг пурпургаліну/г ґрунту (рис. 1).

Поліфенолоксидазна активність ґрунту, яка характеризує синтетичну діяльність і бере участь у перетворенні органічних сполук ароматичного ряду у компоненти гумусу, була на 25,0–47,3 % вищою за активність пероксидази, що свідчило про переважання процесів синтезу гумусу над мінералізацією (рис. 2). Так, у фазу сходів інтенсивність продукування пероксидази становила 0,91–1,00 мг пурпургаліну/г ґрунту, поліфенолоксидази – 1,17–1,32 мг відповідно. Найнижча поліфенолоксидазна активність ґрунту на початку вегетації рослин виявлена за інтенсивної системи землеробства на фоні поверхневого обробітку ґрунту, тобто за даного агрозаходу інтенсивніше проходили процеси мінералізації гумусу; найвища – у варіантах досліду: екологічна система + диференційований обробіток (пероксидаза) та біологічна система + поверхневий обробіток (поліфенолоксидаза), що свідчить про більш інтенсивні процеси гуміфікації.

У фазу змикання листків у міжрядді застосування екологічної системи землеробства сприяло підвищенню вмісту пероксидаз до 1,05 мг за диференційованого обробітку ґрунту, а біологічної системи на фоні поверхневого обробітку – зростанню вмісту поліфенолоксидаз до 1,46 мг

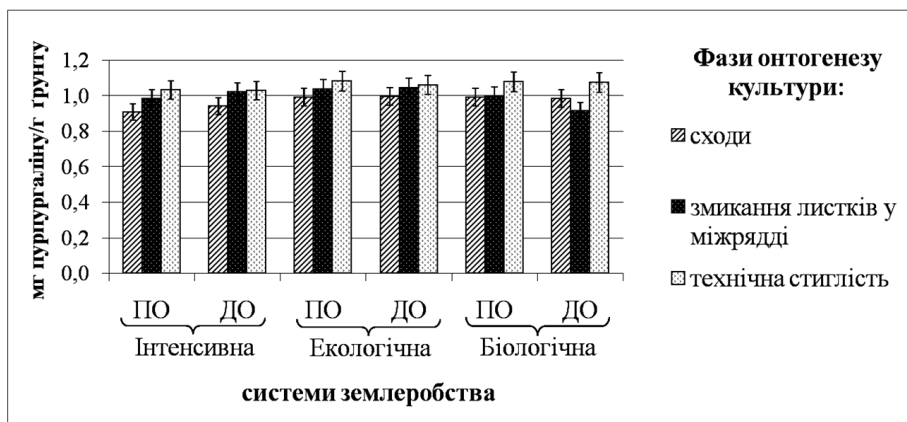


Рис. 1. Пероксидазна активність ґрунту протягом вегетації буряка цукрового (ПО – поверхневий обробіток; ДО – диференційований обробіток)

пурпургаліну/г ґрунту. Це вказує на підвищення інтенсивності процесів розкладу і синтезу органічних сполук ароматичного ряду. У фазу технічної стиглості найвища ферментативна активність виявлена за біологічної системи землеробства на фоні поверхневого обробітку ґрунту: пероксидаз – 1,08 мг пурпургаліну/г ґрунту, поліфенолоксидаз – 1,59 мг відповідно. Це сприяло створенню оптимального режиму активного функціонування ензимного ґрунтового комплексу. Найменшу ферментативну активність ґрунту у фазу змикання листків у міжрядді виявлено за біологічної системи землеробства та диференційованого обробітку (пероксидаз – 0,91 мг пурпургаліну/г ґрунту, поліфенолоксидаз – 1,26 мг), у фазу технічної стиглості – за інтенсивної системи і поверхневого обробітку (1,03 і 1,35 мг відповідно), що свідчить про зниження інтенсивності процесів синтезу та мінералізації гумусових речовин у ризосфері буряка цукрового.

Загалом протягом вегетації буряка цукрового за біологічної та екологічної систем землеробства ферментативна активність ґрунту була вищою на 6,9–8,7%, ніж за інтенсивної, що вказує на зниження темпів біохімічного перетворення органічних сполук за умов пріоритетного внесення мінеральних добрив та інтенсивного застосування хімічних засобів захисту рослин. Застосування поверхневого обробітку ґрунту порівняно з диференційованим сприяло підвищенню поліфенолоксидазної активності чорнозему типового протягом онтогенезу культури у середньому до 7,9%. Проте спосіб обробітку ґрунту і, відповідно, розподіл поживних речовин у кореневмісному шарі ґрунту не мав впливу на активність пероксидаз і, відповідно, інтенсивність процесів окиснення органічних перекисів та рівень деструкції органічної речовини.

Рівень інвертазної активності, який дозволяє оцінити інтенсивність процесів утилізації вуглеводів рослинних решток та іммобілізуючу здатність мікробного комплексу ґрунту, протягом онтогенезу буряка цукрового варіював у межах 13,45–20,23 мг глюкози/г ґрунту за добу (рис. 3).

У фазу сходів інвертазна активність ґрунту при застосуванні інтенсивної та екологічної систем землеробства була слабкою (13,47–14,85 мг глюкози/г ґрунту за добу), тоді як за біологічної системи – середньою (17,59 мг – за поверхневого обробітку ґрунту, 15,20 мг – за диференційованого). У фазу змикання листків у міжрядді за біологічної системи зем-

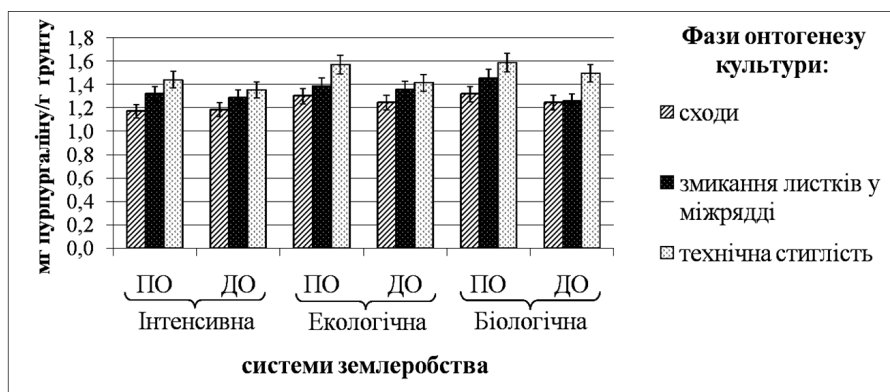


Рис. 2. Поліфенолоксидазна активність ґрунту протягом вегетації буряка цукрового (ПО – поверхневий обробіток; ДО – диференційований обробіток)

леробства ферментативна активність ґрунту знижувалась у середньому на 3,4 %, тоді як за інтенсивної та екологічної – підвищувалась на 6,4 та 8,1 %, що пов'язано з більш інтенсивним розвитком коренеплоду рослини за наявності елементів мінерального живлення у ґрунті та, відповідно, продукуванням інвертази коренями. При цьому інвертазна активність за поверхневого обробітку ґрунту була середньою, а за диференційованого – низькою. У фазу повної стиглості, порівняно з фазою сходів, ферментативна активність ґрунту підвищилась на 12,4 % і була середньою, крім варіантів досліду: інтенсивна система землеробства + диференційований обробіток ґрунту та екологічна система + диференційований обробіток (слабка активність).

Встановлено, що систематичне внесення лише органічних добрив сприяло зростанню інвертазної активності на 5,4–16,1 % порівняно з органо-мінеральними системами удобрення та, відповідно, інтенсифікації перетворення вуглеводів рослинних решток ґрунтовою мікробіотою. За поверхневого обробітку ферментативна активність була вищою на 11,9–29,6 %, ніж за диференційованого, що свідчить про збільшення вмісту у ґрунті вуглеводів, які легко гідролізуються та є джерелом енергії для багатьох ґрунтових гетеротрофів.

Крім функціональної активності ґрунтового мікробного комплексу важливим діагностичним показником оцінки стану наземних екосистем, що дає уявлення про спрямованість біологічних процесів, є структура біорізноманіття мікробного комплексу.

Аналіз метагеному мікробного біому методом піросеквенування дав змогу виявити 367 таксонів прокариот, серед яких 22,3 % – це форми, що не культивуються. Структура мікробного комплексу включала 25 філ бактерій і 2 – архей, домінуючими серед яких були представники *Proteobacteria* (65,7–83,6 %) та *Actinobacteria* (9,3–12,5 %). На рівні порядків абсолютними домінантами були представники *Burkholderiales* (38,7–45,7 %) та *Pseudomonadales* (20,1–31,4 %), родин – *Alcaligenaceae* (37,9–44,8 %) та *Pseudomonadaceae* (20,1–34,1 %), причому їх представленість суттєво відрізнялася за варіантами досліду. На рівні роду серед ідентифікованих прокариотів домінуючими були представники *Achromobacter* (31,9–38,2 %) та *Pseudomonas* (19,9–33,8 %), субдомінуючими – *Candidatus*, *Nitrososphaera*

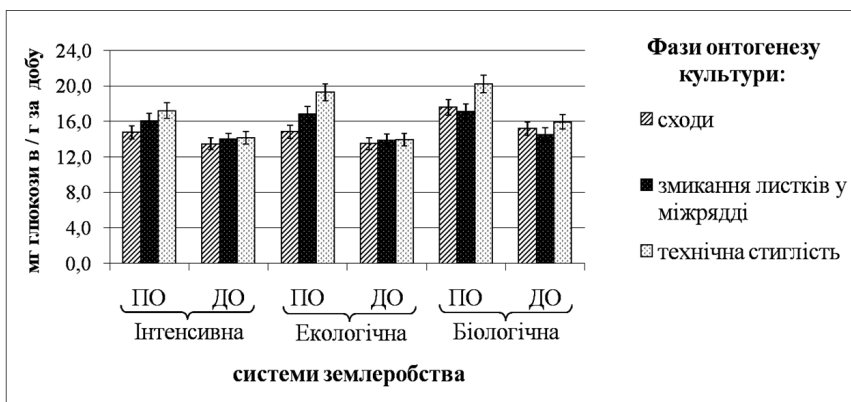


Рис. 3. Інвертазна активність ґрунту протягом вегетації буряка цукрового (ПО – поверхневий обробіток; ДО – диференційований обробіток)

(2,6–4,2 %), *Pseudonocardia*, *Thermomonas*, *Bacillus*, *Rubrobacter*, *Streptomyces*, *Mycobacterium*, *Candidatus*, *Solibacter*, *A4*, *Hyphomicrobium* (0,1–0,4 %) та ін. (табл. 1). Найбільшим родовим різноманіттям прокаріот характеризувалася біологічна система землеробства, а інтенсивна призводила до збіднення поліморфізму генетичних ресурсів чорнозему типового.

Відомо, що дослідження спрямованості мікробних процесів у ґрунті дає змогу зробити більш глибокий аналіз змін у структурі мікробного комплексу, які відбуваються внаслідок антропогенного навантаження. Встановлено, що спрямованість мікробних процесів у ризосфері буряка цукрового пов'язана із фазою онтогенезу культури та залежить від застосовуваних агрозаходів.

Таблиця 1

Метагеном прокаріотного комплексу (на рівні родів) чорнозему типового в агроценозі буряка цукрового

№ п/п	Таксони	Інтенсивна система		Екологічна система		Біологічна система	
		ПО	ДО	ПО	ДО	ПО	ДО
		Представленість родів у метагеномі, %					
1	<i>Achromobacter</i>	38,2	36,6	38,1	37,0	31,5	37,5
2	<i>Pseudomonas</i>	33,8	29,0	23,2	29,0	19,9	21,4
3	<i>Candidatus Nitrososphaera</i>	2,4	2,7	2,7	2,7	4,2	2,6
4	<i>Thermomonas</i>	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4
5	<i>Rubrobacter</i>	0,1	0,3	0,1	0,2	0,4	0,4
6	<i>Bacillus</i>	0,2	0,2	0,3	0,1	0,4	0,2
7	<i>Agromyces</i>	0,2	0,3	0,0	0,1	0,2	0,5
8	<i>Streptomyces</i>	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3
9	<i>Mycobacterium</i>	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,3
10	<i>Pseudonocardia</i>	0,0	0,2	0,0	0,2	0,2	0,4
11	<i>Candidatus Solibacter</i>	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
12	<i>Rhodoplanes</i>	0,1	0,1	0,3	0,0	0,2	0,2
13	<i>A4</i>	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
14	<i>Nitrospira</i>	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0
15	<i>Hyphomicrobium</i>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
16	<i>Sporosarcina</i>	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2
17	<i>Nocardioides</i>	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0
18	<i>Cellulomonas</i>	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
19	<i>Iamia</i>	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
20	<i>Janthinobacterium</i>	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2
21	<i>Aeromicrobium</i>	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2
22	<i>Steroidobacter</i>	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1
23	<i>Rubrivivax</i>	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2
24	<i>Balneimonas</i>	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
25	<i>Solirubrobacter</i>	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1
26	<i>Paenibacillus</i>	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
27	<i>Sphingomonas</i>	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0
28	<i>Amaricoccus</i>	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
29	<i>Ralstonia</i>	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
30	<i>Inuii</i>	23,4	28,7	33,5	28,7	40,6	34,0

Примітка – ПО – поверхневий обробіток; ДО – диференційований обробіток

Показники коефіцієнта накопичення гумусу (за Муромцевим) за всіх систем землеробства протягом онтогенезу культури були вищі за одиницю ($K_{\text{гум.}} = 1,25-1,48$), що свідчить про екологічну збалансованість агроценозу і переважання процесів синтезу органічної речовини над деструкцією (табл. 2). При цьому за всіх варіантів досліду вони зростали: від 1,25 – 1,33 у фазу сходів до 1,27 – 1,46 у фазу змикання листків у міжрядді і до 1,32 – 1,48 у фазу технічної стиглості. Трансформація органічної речовини у ризосфері буряка цукрового протягом вегетації проходила інтенсивніше за поверхневого обробітку ґрунту, ніж за диференційованого. Застосування біологічної системи землеробства сприяло посиленню інтенсивності трансформації органічної речовини порівняно з інтенсивною системою, за якої показники коефіцієнта гуміфікації були найнижчими.

Протягом онтогенезу буряка цукрового показники коефіцієнта мінералізації-імобілізації ($K_{\text{м.-і.}}$) варіювали у межах 0,81–1,35. Зростання показників $K_{\text{м.-і.}}$ до 1,06–1,35 за застосування інтенсивної системи землеробства свідчить про підвищення інтенсивності трансформації вуглеводів ґрунту і зв'язування вільного азоту азотофіксувальними мікроорганізмами. Внаслідок цього посилюється конкуренція за доступний азот між

Таблиця 2

Коефіцієнти спрямованості мікробних процесів у ризосфері буряка цукрового за різних систем землеробства

Фази онтогенезу	Системи землеробства					
	Інтенсивна		Екологічна		Біологічна	
	ПО	ДО	ПО	ДО	ПО	ДО
Коефіцієнт накопичення гумусу						
сходи	1,29	1,26	1,32	1,25	1,33	1,26
змикання листків у міжрядді	1,34	1,27	1,34	1,30	1,46	1,41
технічна стиглість	1,40	1,32	1,47	1,34	1,48	1,40
Коефіцієнт мінералізації-імобілізації						
сходи	1,35	1,31	0,98	1,00	1,03	0,81
змикання листків у міжрядді	1,06	1,10	0,98	0,85	0,95	0,89
технічна стиглість	1,18	1,13	1,01	0,97	0,93	0,99
Коефіцієнт педотрофності						
сходи	1,76	1,92	0,99	0,78	0,83	0,63
змикання листків у міжрядді	0,85	0,85	0,88	0,67	0,83	0,70
технічна стиглість	1,08	1,04	0,941	0,79	0,75	0,74
Коефіцієнт оліготрофності						
сходи	0,46	0,43	0,30	0,22	0,34	0,33
змикання листків у міжрядді	0,28	0,30	0,28	0,24	0,24	0,32
технічна стиглість	0,37	0,35	0,32	0,30	0,28	0,28
Коефіцієнт мікробної трансформації органічної речовини ґрунту						
сходи	9,23	10,56	14,891	11,06	14,70	20,22
змикання листків у міжрядді	37,69	64,66	40,50	49,34	46,40	43,90
технічна стиглість	36,50	38,94	46,27	50,61	56,51	51,90

Примітка: ПО – поверхневий обробіток; ДО – диференційований обробіток.

мікроорганізмами та рослинами, що призводить до зниження засвоєння сполук азоту рослинами, втрат органічної речовини ґрунту, а також, опосередковано, підвищення швидкості розкладу специфічної органічної речовини – гумусу. У варіантах досліду: екологічна система землеробства + диференційований обробіток ґрунту (фаза сходів), екологічна система + поверхневий обробіток та біологічна система + диференційований обробіток (фаза повної стиглості) процеси мінералізації-іммобілізації були зрівноваженими ($K_{M-I} = 0,99-1,01$). За решти варіантів застосування екологічної та біологічної систем землеробства на фоні обох обробітків ґрунту значення коефіцієнта мінералізації-іммобілізації варіювали у межах 0,81–0,98, що свідчить про переважання процесів синтезу органічної речовини над її деструкцією.

Значення коефіцієнта педотрофності (K_{II}) протягом онтогенезу культури варіювали у межах 0,63–1,92. Підвищення величини K_{II} до 1,04–1,92 при застосуванні інтенсивної системи землеробства (фази сходів і технічної стиглості) свідчить про збільшення інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту, зокрема гумусових сполук. При застосуванні екологічної та біологічної систем протягом онтогенезу культури показники коефіцієнта педотрофності становили 0,63–0,99, що вказує на збереження органічної речовини ґрунту за даних умов.

Коефіцієнт оліготрофності ($K_O = 0,22-0,46$) свідчить про високу забезпеченість ґрунтової мікробіоти легкозасвоюваними органічними речовинами протягом онтогенезу буряка цукрового та формування оптимальних умов для функціонування ґрунтового мікробного комплексу за всіх агрозаходів. Слід зазначити, що при застосуванні екологічної та біологічної систем землеробства забезпеченість мікробіоти елементами живлення була значно вищою, ніж за екологічної системи.

Порівняльна оцінка спрямованості ґрунтових мікробних процесів з використанням коефіцієнта мікробної трансформації органічної речовини ($K_{M.T.P.}$) ґрунту показала, що у фазу сходів буряка цукрового мікробні процеси перетворення органічних речовин відбувались повільно ($K_{M.T.P.} = 9,23-20,22$). У фазі змикання листків у міжрядді і технічної стиглості активність перетворення сполук вуглецю зростала у 2,2–4,6 рази (34,66–49,34 і 36,50–56,51 відповідно), що пов'язано з накопиченням у ґрунті рослинних решток, кореневого опаду. Це, у свою чергу, сприяло накопиченню та збільшенню кількості легкозасвоюваних поживних речовин у ґрунті та поліпшенню трофічного режиму, про що також свідчить зниження коефіцієнтів педотрофності та оліготрофності.

Протягом онтогенезу культури інтенсивність процесів трансформації органічних речовин у ризосфері зростала зі зменшенням норми мінеральних добрив у напрямі: інтенсивна → екологічна → біологічна системи землеробства.

Встановлено тісний кореляційний зв'язок між вмістом гумусу, активністю ферментів, коефіцієнтами гуміфікації і мікробної трансформації органічної речовини ($r = 0,60-0,92$), що вказує на взаємозв'язок між процесами гумусоутворення і трансформації сполук вуглецю із функціональною активністю та метаболічними процесами життєдіяльності мікробіоти ґрунту.

Таким чином, ферментативна активність ґрунту та спрямованість мікробних процесів у ризосфері буряка цукрового залежить від фази онтогенезу культури та застосовуваних агрозаходів. Визначено, що застосування біологічної системи землеробства на фоні поверхневого обробітку ґрунту, порівняно з іншими агрозаходами, сприяло зростанню вмісту гумусу у чорноземі типовому в найбільшій мірі (до 4,88 – 5,08 %). Виявлено тенденцію зростання ферментативної активності ґрунту від посіву до збирання врожаю культури. Встановлено, що застосування екологічної та біологічної систем землеробства, а також поверхневого обробітку ґрунту, на відміну від інтенсивної системи, сприяло підвищенню ферментативної активності ґрунту. Застосування біологічної системи зумовлювало зростання різноманіття мікробного комплексу ризосфери буряка цукрового, а інтенсивної – його зниження. Визначено, що за біологічної та екологічної систем землеробства процеси синтезу органічної речовини домінували над деструкцією ($K_{M-I} = 0,81-0,99$). Інтенсивна система сприяла підвищенню асиміляції мікроорганізмами поживних речовин із ґрунту ($K_{II} = 1,04-1,92$) і переважання процесів деструкції органічної речовини над її синтезом ($K_{M-I} = 1,06-1,35$), що призводило до збільшення рівня їх конкуренції з рослинами за азотне живлення. Інтенсивність мікробної трансформації органічної речовини у ґрунті підвищувалась у напрямі від інтенсивної до біологічної системи землеробства.

Публікація містить результати досліджень, проведених за грантом Президента України за конкурсним проектом Ф70/128-2017 Державного фонду фундаментальних досліджень.

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ МИКРОБНОГО БИОМА ПОЧВЫ В АГРОЦЕНОЗАХ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Н. В. Патыка¹, Ю. П. Борко², И. И. Ибатуллин¹, А. Ю. Колодяжный¹, С. П. Танчик¹

¹Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,
ул. Героев Оборона, 13, Киев, 03041, Украина

²ННЦ «Институт земледелия НААН Украины»,
ул. Машиностроителей, 2-Б, с. Чабаны, Киево-Святошинский р-н,
Киевская обл., 08162, Украина

Резюме

Целью работы было определение ферментативной активности чернозема типичного, содержания в нем гумуса и оценка направленности микробных процессов в ризосфере сахарной свеклы при различных агроприемах. **Методы.** Содержание гумуса определено методом Тюрина в модификации Симакова, таксономическая структура прокариот микробиома почвы – методом пироксевенирования. Полифенолоксидазную и пероксидазную активности оценено по Галстяну в модификации Чундеровой, инвертазную – по Купревичу и Щербаковой. Направленность микробных процессов в почве охарактеризована с помощью соответствующих коэффициентов. **Результаты.** Установлено, что ферментативная активность чернозема типичного и направленность микробных процессов в ризосфере сахарной свеклы зависят от фазы

онтогенеза культуры и агроприемов. Определено, что биологическая система земледелия на фоне поверхностной обработки почвы, по сравнению с другими агроприемами, способствует повышению содержания гумуса и ферментативной активности почвы. Применение биологической системы земледелия обуславливает увеличение микробного разнообразия в ризосфере сахарной свеклы по сравнению с интенсивной, при которой наблюдается обеднение полиморфизма прокариот чернозема типичного. Определено, что при биологической и экологической системах земледелия процессы синтеза органического вещества доминируют над деструкцией, тогда как при интенсивной системе наблюдается повышение ассимиляции микроорганизмами питательных веществ из почвы. Интенсивность микробной трансформации органического вещества повышается от интенсивной к биологической системе земледелия.

Выводы. Применение экологической и биологической систем земледелия, в отличие от интенсивной, способствует увеличению ферментативной активности почвы и видового разнообразия микробиоты, оптимизации накопления гумуса и процессов трансформации органических соединений.

Ключевые слова: микробные процессы, пероксидаза, полифенолоксидаза, инвертаза, гумус, метагеном, чернозем типичный, ризосфера, сахарная свекла, агроприемы.

THE FEATURES OF FUNCTIONAL-ENZYMATIC DIRECTIVITY OF MICROBIAL BIOME IN AGROCENOSSES OF SUGAR BEET

M. V. Patyka¹, Yu. P. Borko², I. I. Ibatullin¹, A. Yu. Kolodyazhnyi¹, S. P. Tanchyk¹

*¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Heroev Oborony street, 13, Kyev, 03041, Ukraine*

*²NSC "Institute of Agriculture NAAS",
Mashinostroiteley street 2-B, Chabany, Kiev-Svyatoshinsky district,
Kyiv, 08162, Ukraine*

Summary

The **aim** was to define the enzymatic activity of chernozem typical, humus content in it and to evaluate the directivity of microbial processes in the sugar beet rhizosphere at the different agromeasures. **Methods.** The humus content has been defined by the Turin method in Simakov modification, the taxonomic structure of prokaryotes of soil microbiome – by the pyrosequencing method. Polyphenol oxidase and peroxidase activity have been estimated by Galstyan in Chunderova modification, invertase – by Kuprevych and Shcherbakova, directivity of microbial processes in the soil – by the using of appropriate coefficients. **Results.** The enzymatic activity of typical chernozem and directivity of microbial processes in the sugar beet rhizosphere are depend on the phase of culture ontogenesis and agromeasures. Have been established, that the biological system of agriculture on the background of surface soil tillage, in comparison with other agromeasures, contributes to the increase of humus content and enzymatic activity of soil. The application of biological agrarian system causes to increase in the microbial diversity in the rhizosphere of sugar beet, compared with the intensive system, in which is observed the impoverishment of prokaryotes of typical chernozem. It has established that the synthesis processes of organic matter are dominated above destruction at the biological and

ecological agrarian systems, whereas the increasing of microbial assimilation of nutrients from the soil are at the intensive system. The intensity of the microbial transformation of organic matter was increased in the direction from intensive to biological agrarian systems. **Conclusions.** The application of ecological and biological agrarian systems, unlike intensive promotes the increase of enzymatic activity of soil, species diversity of microbiota, to optimize the humus accumulation and progress of organic compounds transformation processes.

Keywords: microbial processes, peroxidase, polyphenol oxidase, invertase, humus, metagenome, typical chernozem, rhizosphere, sugar beet, agromeasures.

1. Андронов Е.Е., Пинаев А.Г., Перишина Е.В. Научно-методические рекомендации по выделению высокоочищенных препаратов ДНК из объектов окружающей среды. – ГНУ ВНИИСХМ, 2011. – 27 с.
2. Аюпов З.З., Сидорова Л.В., Анохина Н.С., Миннебаева И.Ф., Гареев Н.И. Органическое вещество и ферментативная активность чернозема выщелоченного в зависимости от приемов основной обработки и удобрения // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2010. – № 2. – С. 11–15.
3. Борко Ю.П., Патица М.В., Колодяжний О.Ю. Мікробний ценоз чорнозему типового за біологічної та інтенсивної систем землеробства // Землеробство. – 2016. – Вип. 1. – С. 58–63.
4. Гадзало Я.М., Патыка Н.В., Заришняк А.С. Агробиология ризосферы растений: монография. – К.: Аграрна наука, 2015. – 386 с.
5. Городній М.М., Лісовал А.П., Бикін А.В., Сердюк А.Г.; Каленський В.П. Агрохімічний аналіз. – К.: Арістей, 2007. – 624 с.
6. Гулько А.Е., Хазиев Ф.Х. Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность // Почвоведение. – 1992. – № 11. – С. 55–67.
7. ДСТУ 3750–98. Мікробіологія ґрунту. Терміни та визначення. – введ. 01.07.1999.
8. Звягинцева О.В., Максимова Е.В., Макурина О.Н. Динамика целлюлозоразлагающей, инвертазной и полифенолоксидазной активности почвенной микрофлоры Самарской области // Вестник Самарского ГУ. Естественнаучная серия. – 2006. – № 9 (49). – С. 138–144.
9. Мекіч М.З., Джура Н.М, Терек О.І. Функціональне і прикладне значення біологічної активності ґрунту // Біологічні студії. – 2013. – Т. 7. – № 3. – С. 247–258.
10. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. (Методика проведения опытов и анализ почв). / Под общ. ред. акад. ВАСХНИЛ В.Д. Ванникова. – М., 1975. Ч. 1. – 151 с.
11. Москалевська Ю.П., Патица М.В. Активність мікробного біому чорнозему типового в посівах буряків цукрових за різних технологій вирощування // Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН». – 2014. – № 4. – С. 39–45.
12. Москалевська Ю.П., Патица М.В. Біологічна активність та мікробна трансформація органічної речовини чорнозему типового за різних систем землеробства / Науково-практичний журнал «Збалансоване природокористування». – 2014. – № 2. – С. 68–72.
13. Москалевська Ю.П., Патица М.В. Структурно-функціональне формування метабіоому прокариот ризосфери буряку цукрового в чорноземі типовому // Збірник

- наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН» – 2014. – № 1–2. – С. 69–76.
14. *Патыка Н.В., Патыка В.Ф.* Агробиологія мікроорганізмів: різноманітність, структурна організація і функціональні особливості // Міжнародна наукова конференція «Мікробіологія та імунологія – перспективи розвитку в ХХІ столітті» (Київ, 2014 р.): Тези доповідей. – К., 2014. – С. 77–78.
15. *Раськова Н.В.* Активність і властивості пероксидази і поліфенолоксидази в дерново-подзолистих ґрунтах під лісовими біоценозами // Почвознавство. – 1995. – № 11. – С.1363-1368
16. *Танчик С.П., Демідов О.А., Манько Ю.П.* Екологічна система землеробства в Лісостепу України. Методичні рекомендації для впровадження у виробництво. – К: НУБіП України, 2011. – 39 с.
17. *Титова В.И., Козлов А.В.* Методи оцінки функціонування мікробіоценозу ґрунту, що бере участь у трансформації органічної речовини: Научно-методичне посібник. – Нижній Новгород: Нижегородська с.-х. академія, 2012. – 64 с.
18. *Туев Н.А.* Мікробіологічні процеси гумусоутворення. – М.: Агропромиздат, 1989. – 23 с.
19. *Gianfreda L., Rao M., Piotrowska A., Palumbo G., Colombo C.* Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution // *Science of the Total Environment*. – 2005. – P. 265–279.
20. *Ronaghi M.* Pyrosequencing: a tool for DNA sequencing analysis // *Methods of Molecular Biology* – 2004. – Vol. 255. – P. 211–219.

Отримано 20.12.2016