

9. Цуркан Р.П. Кокцинелиди в агроценозах деяких бобових культур та їх роль у регулюванні чисельності горохової попелиці на посівах гороху. *Карантин і захист рослин*. 2011. № 1. С. 8–10.
10. Облік шкідників і хвороб сільськогосподарських культур / за ред. В.П. Омелюти. Київ : Урожай, 1986. 296 с.
11. Фасулати К.К. Полевое изучение наземных беспозвоночных. Москва : Высшая школа, 1971. 424 с.
12. Савойская Г.И. Кокцинеллиды: (систематика, применение в борьбе с вредителями сельского хозяйства). Алма-Ата : Наука, 1983. 248 с.
13. Bielawski R. Cześć XIX. Chrząszcze – Coleoptera. Zeszyt 76. Biedronki – Coccinellidae. Klucze do oznaczania owadów Polski. № 26. Polski Związek Entomologiczny. Warszawa, 1959. P. 3–92.
14. Adriaens T., Maes D. Voorlopige verspreidingsatlas van lieveheersbeestjes in Vlaanderen. Jrg. 2, nr. 1 bis. Bertram, 2004. 72 p.
15. Дядечко Н.П. Кокцинеллиды Украинской ССР. Київ : Изд-во АН УССР, 1954. 182 с.
16. Орлова-Беньковская М.Я. Опасный инвазионный вид божьих коровок *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773) (Coleoptera, Coccinellidae) в Европейской России. *Российский журнал биологических инвазий*. 2013. № 1. С. 75–82.
17. Станкевич С.В., Забродіна І.В. Моніторинг шкідників сільськогосподарських культур: навчальний посібник. Харків : ФОП Бровін О.В., 2016. 216 с.
18. Біологічний захист рослин / за ред. М.П. Дядечка та М.М. Падія. Біла Церква : БНАУ, 2001. 312 с.

УДК 632.951:631.427:631.587

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.14>

ВПЛИВ ІНСЕКТИЦИДІВ НА ФЕРМЕНТАТИВНУ АКТИВНІСТЬ ГРУНТУ НА ЗРОШУВАНИХ ЗЕМЛЯХ

Мельничук Ф.С. – д.с.-г.н., старший науковий співробітник, директор,
Державне підприємство «Центральна лабораторія якості води та ґрунтів»
Інституту водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України
Марченко О.А. – к.біол.н., старший науковий співробітник,
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України
Коваль Г.В. – аспірант,
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України
Шаткоєвська К.Б. – науковий співробітник,
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України

Біохімічні показники ферментативних систем ґрунтових мікроорганізмів, що беруть участь у перетвореннях органічних та неорганічних сполук, широко використовуються в ролі тест-об'єктів для визначення впливу на гомеостаз ґрунту пестицидів із метою встановлення їх токсичності та вивчення процесів біоремідації. Вплив на життєдіяльність мікробіому ґрунту застосування засобів захисту рослин в умовах зрошення ще є маловивченим питанням і потребує широкого дослідження в умовах різних ґрунтових зон України.

Відбір проб ґрунту проводився в умовах Лісостепу України на дослідних ділянках у ФГ «Агротехлаб» (с. Любарці Бориспільського р-ну Київської обл.) протягом 2019–2020 рр.

на гібриді соняшнику Неома. Вегетаційні поливи соняшнику проводили із застосуванням методу дощування. Рівень передполивної вологості – 70–80% НВ. Протягом досліді в ґрунт вносили неонікотинοїдні інсектициди клотіанідин, тіаметоксам, тіаклопрід і хлорорганічний інсектицид хлорпірифос у 1-кратній, 5-кратній та 10-кратній дозах. Досліджували ферментативну активність уреаз, кислοї фосфатази і дегідрогенази, дихання ґрунту, трансформацію азоту за загальноприйнятими агрохімічними методиками. Отримані дані проаналізовані двофакторним аналізом.

У результаті проведених досліджень виявлено інгібуючу дію всіх досліджуваних препаратів на ґрунтового дихання, активність лужної фосфатази і дегідрогенази. Активність уреаз та кислοї фосфатази при експозиції інсектицидів протягом 14 днів знижувалась, а при збільшенні тривалості дії препаратів незначно підвищувалась. Це може свідчити про утворення в бактеріальних угрупованнях ґрунту резистентних популяцій за умови більшої тривалості дії інсектицидів. Крім того, досліджувані неонікотинοїдні інсектициди в різних дозах викликали посилення процесів амоніфікації протягом 56 днів експозиції в порівнянні з контролем та уповільнювали нітрифікацію до 28 днів експозиції. Низька доза хлорпірифосу до 56 доби стимулювала збільшення утворення аміачного азоту в ґрунті, а підвищені дози викликали зменшення вмісту аміачного азоту протягом перших 14 днів експозиції і повільне збільшення під час подовження тривалості контамінації. Вірогідно, це пов'язано з токсичністю хлорпірифосу в підвищених дозах для мікроорганізмів. Таким чином, активність ферментів є важливим показником гомеостазу ґрунту під час визначення особливостей впливу інсектицидів на процеси життєдіяльності мікроорганізмів в умовах зрошення.

Ключові слова: зрошення, ферментативна активність ґрунту, інсектициди, дихання ґрунту, трансформація азоту, клотіанідин, тіаметоксам, тіаклопрід, хлорпірифос.

Melnychuk F.S., Marchenko O.A., Koval G.V., Shatkovska K.B. The effect of insecticides on the enzymatic activity of the soil on irrigated lands

Biochemical parameters of enzymatic systems of soil microorganisms involved in the transformation of organic and inorganic compounds are widely used as test objects to determine the pesticides effect on soil homeostasis to determine their toxicity and study bioremediation processes. The impact of the application of plant protection products under irrigated conditions on the vital activity of the soil microbiome requires extensive research under the conditions of different soil zones of Ukraine.

Soil sampling was carried out in the Forest-Steppe of Ukraine at the experimental plots in FE "Agrotechlab" (Lyubartsi village, Boryspil district, Kyiv region) in 2019–2020 on a Neoma sunflower hybrid. Vegetative watering of sunflower was carried out using the sprinkling method. The level of pre-irrigation humidity was 70–80% НВ. During the experiment, the neonicotinoid insecticides clothianidin, thiamethoxam, thiacloprid and the organochlorine insecticide chlorpyrifos were applied to the soil in 1 multiple, 5 multiple and 10 multiple doses. The enzymatic activity of urease, acidic and alkaline phosphatase and dehydrogenase, soil respiration, nitrogen transformation were studied according to generally accepted agrochemical methods. The obtained data were analyzed in a two-factor analysis.

As a result of the conducted research, the inhibitory effect of all investigated pesticides on soil respiration, alkaline phosphatase and dehydrogenase activity was revealed. The urease and acid phosphatase activities during 14 days of insecticides exposition decreased, and with increasing duration of pesticides action increased slightly. This may indicate the formation of resistant populations in the soil bacterial groups under a longer duration of the action of insecticides. In addition, the studied neonicotinoid insecticides in different doses caused the intensification of ammonification processes during 56 days of exposure compared to control and slowed nitrification to 28 days of exposure. Low doses of chlorpyrifos up to 56 days stimulated an increase in ammonia nitrogen formation in the soil, and higher doses caused a decrease in ammonia nitrogen content during the first 14 days of exposure and a slow increase with prolonged contamination. This is probably due to the toxicity of chlorpyrifos in high doses to microorganisms. Thus, the activity of enzymes is an important indicator of soil homeostasis for determining the characteristics of the insecticides impact on the vital processes of microorganisms under irrigation.

Key words: irrigation, soil enzymatic activity, insecticides, soil respiration, nitrogen transformation, clothianidin, thiamethoxam, thiacloprid, chlorpyrifos.

Постановка проблеми. Важливу роль у сталому функціонуванні агроєкосистем відіграють біохімічні процеси, які відбуваються в ґрунтах завдяки життєдіяльності мікроорганізмів. Шляхом складних перетворень органічних та неорганічних сполук ґрунтові мікробіоти забезпечують поживними речовинами та енергією

фітоценози. Ферментативні системи, які беруть участь в таких перетвореннях, надзвичайно чутливі до змін в оточуючому середовищі і тому широко використовуються в якості тест-об'єктів для визначення впливу на гомеостаз ґрунту різних агротехнічних заходів. Зокрема, проводяться дослідження впливу пестицидів на біохімічні показники ґрунту з метою встановлення їх токсичності та вивчення процесів біоремідації. Вплив на життєдіяльність мікробіому ґрунту під час застосування засобів захисту рослин в умовах зрошення ще є маловивченим питанням і потребує широкого дослідження в умовах різних ґрунтових зон України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За даними сучасних досліджень, біодеградація неонікотіноїдів пов'язана з процесами нітрифікації [1, с. 65]. Крім того, неонікотіноїдні інсектициди також піддаються розщепленню в процесах перетворення азотвмісних сполук. Так, китайськими вченими з ґрунту була виділена азотфіксуюча бактерія *Ensifer meliloti*, яка здатна гідролізувати тіаклоприд до амідної форми [2, с. 14]. Також з ґрунту виділено штами бактерій *Pseudoxanthomonas sp.*, які здатні до біодеградації ацетоміприду та беруть участь у процесах відновлення нітратів та нітритів [3, с. 263].

Під час дослідження впливу на ґрунтові мікроорганізми різних концентрацій (0,02 мг/кг, 0,2 мг/кг, 2,0 мг/кг) тіаметоксама або динотефурану встановлено зниження інтенсивності метаболізму вуглецю та підвищення активності азотного обміну. При цьому при низьких дозах тіаметоксама утилізація джерел вуглецю збільшувалась, а при високих – зменшувалась. Відмічено, що низькі дози динотефурану викликають збільшення використання амінів, вуглеводів та фенольних сполук. На думку авторів, низькі дози обох неонікотіноїдів збільшували біорізноманіття мікроорганізмів ґрунту, а при середніх та високих нормах популяції мікроорганізмів деградували [4, с. 10]. Встановлено інгібуючу дію на метаболічні процеси в ґрунті циперметрину та тіаметоксама, яка проявлялась у зниженні ферментативної активності дегідрогенази, уреазі, каталази та фосфатази. Крім того, рН та вологість ґрунту позитивно корелювали з активністю дегідрогенази, каталази та уреазі та негативно корелювали з активністю фосфатази [5, с. 10442].

Мета дослідження – встановити вплив діючих речовин неонікотіноїдних інсектицидів клотіанідину, тіаметоксама, тіаклоприду і хлорорганічного інсектициду хлорпіріфосу на біохімічні показники ґрунту в умовах зрошування

Матеріали і методи досліджень. Відбір проб ґрунту проводився в умовах Лісостепу України на дослідних ділянках у ФГ «Агротехлаб» (с. Любарці Бориспільського р-ну Київської обл.) протягом 2019–2020 рр. на гібриді соняшнику Неома. Вегетаційні поливи соняшнику проводили із застосуванням методу дощування: перший – перед утворенням зачатків суцвіття, у фазі 2-3 пар листків, другий – на початку утворення кошиків, третій – на початку цвітіння, четвертий і п'ятий – у період наливання насіння. Рівень передполивної вологості – 70–80% НВ. Протягом досліду в ґрунт вносили неонікотіноїдні інсектициди клотіанідин, тіаметоксам, тіаклоприд і хлорорганічний інсектицид хлорпіріфос у 1-кратній, 5-кратній та 10-кратній дозах.

Досліджували ферменти уреазу, кислу та лужну фосфатази і дегідрогеназу, дихання ґрунту, трансформацію азоту за загальноприйнятими агрохімічними методиками [6, с. 263–271].

Статистичний аналіз зібраних даних проводили в модулях програми Microsoft Excel® і в спеціалізованій статистичній програмі R® (<https://www.r-project.org/>). Отримані дані проаналізовані двофакторним аналізом. Двонаправлений дисперсійний аналіз (ANOVA) проводили для визначення відсотка варіації досліджених параметрів ґрунту під впливом різних доз кожного дослідженого пестициду.

Результати досліджень та їх обговорення. Проведені дослідження показали, що неонікотиноїдні інсектициди клотіанідин, тіаметоксам та тіаклопрід, так само як і хлорорганічний інсектицид хлорпірифос, при внесенні 1 кратної, 5 кратної та 10 кратної доз достовірно суттєво (табл. 1) пригнічували дихальні процесі в ґрунті починаючи з першого дня експозиції, що напряду корелювало з дозою пестицидів та тривалістю дії препаратів (рис. 1). Отримані дані свідчать про високу токсичність досліджуваних інсектицидів для процесів обміну енергії аеробної мікрофлори ґрунту. Відомо, що ґрунтове дихання є об'єктивним біопоказником стану та якості ґрунту тому, що метаболічні процеси аеробного окислення безпосередньо залежать від фізіологічного стану клітин мікроорганізмів [7, с. 120].

Таблиця 1

Дисперсійний аналіз (ANOVA) впливу дози та тривалості дії інсектицидів на дихальну активність ґрунту

Інсектицид	Джерело варіювання	Ступені свободи	Середнє	Відхилення	Відсоток варіювання (%)	F	p
Тіаметоксам	Доза	3	1157	385,7	89	1058,6	< 0,001
	Час	3	55,9	18,6	4	51,1	< 0,001
	Доза × час	9	244,8	27,2	6	74,7	< 0,001
Клотіанідин	Доза	3	892,5	297,5	84	373,8	< 0,001
	Час	3	104,1	34,7	10	43,6	< 0,001
	Доза × час	9	203,4	22,6	6	28,4	< 0,001
Тіаклопрід	Доза	3	864,5	288,2	87	882,8	< 0,001
	Час	3	92,7	30,9	9	94,7	< 0,001
	Доза × час	9	119,6	13,3	4	40,7	< 0,001
Хлорпірифос	Доза	3	1927,9	642,6	92	825,1	< 0,001
	Час	3	106,4	35,5	5	45,6	< 0,001
	Доза × час	9	206,6	23	3	29,5	< 0,001

Активність ферменту уреазиди від першого до 14 дня експозиції тіаметоксаму, клотіанідину та хлорпірифосу зменшувалась при всіх дозах інсектицидів, але при більш тривалій експозиції від 28 до 56 днів незначно підвищувалась в порівнянні з контролем (рис. 2). Ферментативна активність уреазиди під впливом тіаклоприду протягом першої доби знижувалась зі збільшенням дози препарату, а при продовженні експозиції зі збільшенням кратності дози активність ферменту підвищувалась. Варіація активності уреазиди щодо різних доз і днів експозиції була статистично значуща при $P < 0.001$ (табл. 2). Вірогідно, це свідчить про залучення тіаметоксаму в субстратні перетворення уреазидою та участь цього ферменту в біодеградаційних процесах. Фермент уреазиди бере участь у гідролізі сечовини до вуглекислого газу та аміаку, завдяки чому відіграє ключову роль в азотному обміні ґрунту. Уреазидна активність ґрунтів зумовлена тим, що екстрацелюлярні ферменти зв'язуються з органічними та неорганічними колоїдами з подальшим їх розщепленням. Тому незначне підвищення активності уреазиди можливо пояснюється тим, що частина ферментів може бути зв'язана з бактеріальними клітинами або їх залишками, і такі фракції не беруть участь в біохімічних процесах на початку експозиції [8, с. 104].

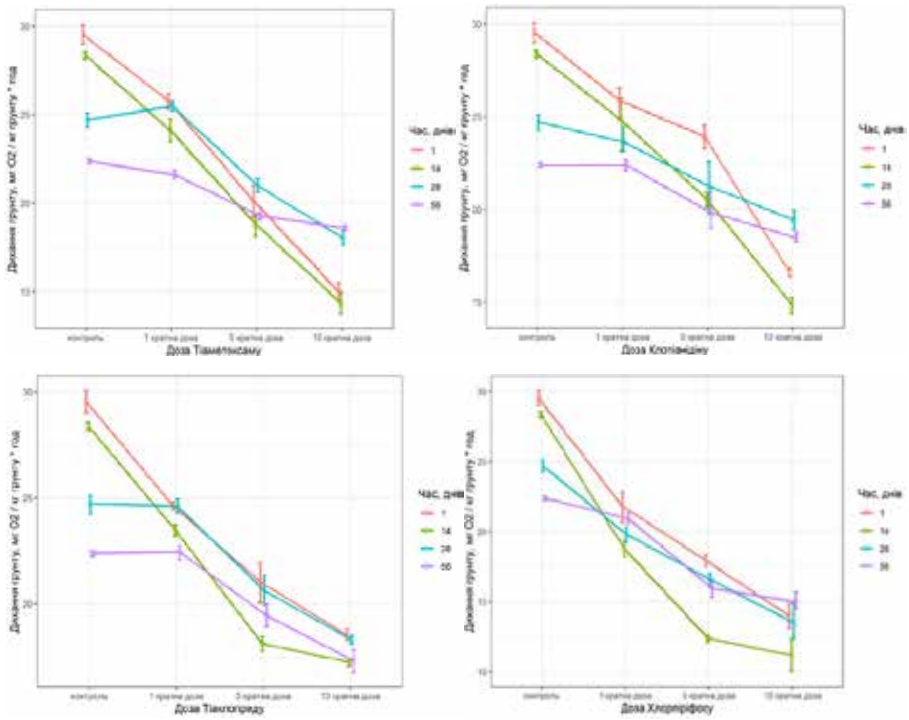


Рис. 1. Вплив різних доз інсектицидів на дихання ґрунту в умовах зрошення

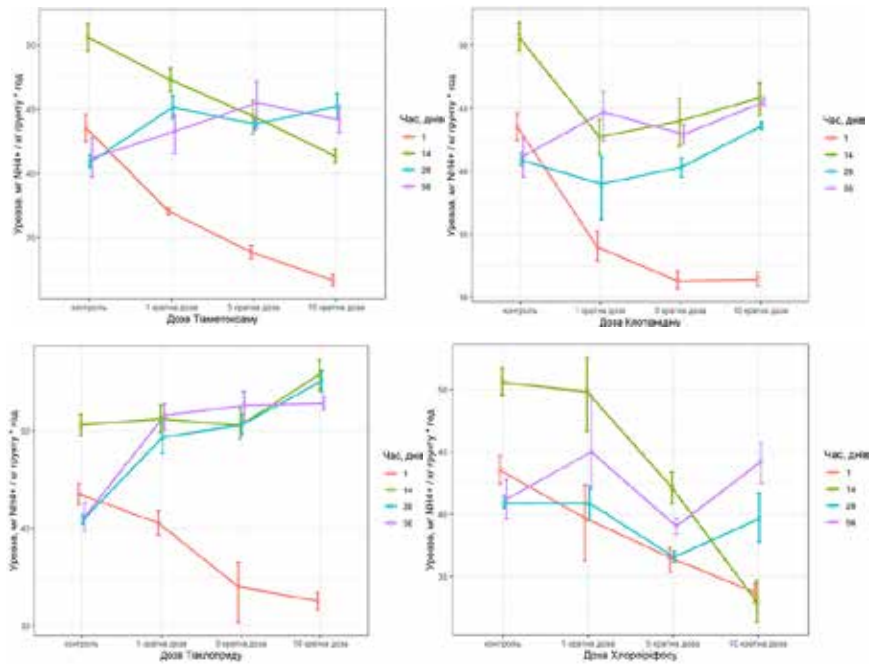


Рис. 2. Вплив різних доз інсектицидів на уреазну активність ґрунту в умовах зрошення

Таблиця 2

Дисперсійний аналіз (ANOVA) впливу дози та тривалості дії інсектицидів на уреазну активність ґрунту

Інсектицид	Джерело варіювання	Ступені свободи	Середнє	Відхилення	Відсоток варіювання (%)	F	p
Тіаметоксам	Доза	3	136,6	45,5	10	25,2	< 0,001
	Час	3	1000,1	333,4	74	184,6	< 0,001
	Доза × час	9	609,2	67,7	15	37,5	< 0,001
Клотіанідин	Доза	3	238,1	79,4	14	29	< 0,001
	Час	3	1286,1	428,7	75	156,9	< 0,001
	Доза × час	9	554,8	61,6	11	22,6	< 0,001
Тіаклопрід	Доза	3	285,8	95,3	9	26,5	< 0,001
	Час	3	2457,1	819	78	227,5	< 0,001
	Доза × час	9	1218,2	135,4	13	37,6	< 0,001
Хлорпіріфос	Доза	3	695,5	231,8	51	41,6	< 0,001
	Час	3	386,5	128,8	29	23,1	< 0,001
	Доза × час	9	767,8	85,3	19	15,3	< 0,001

Фосфатази в ґрунті каталізують перетворення шляхом гідролізу органічних субстратів, що містять фосфор в неорганічний фосфор. Показники активності кислої та лужної фосфатаз пов'язані з швидкістю перетворення органічних речовин в ході колообігу фосфору в ґрунті [9, с. 308]. Активність лужної фосфатази всіма досліджуваними інсектицидами статистично значимо (табл. 3) інгібувалась при всіх дозах та особливо при максимальній 10 кратній концентрації (рис. 3). Тривалість дії інсектицидів несуттєво впливала на зниження ферментативної активності, але найменші показники відмічали при найбільшій експозиції протягом 56 днів.

Таблиця 3

Дисперсійний аналіз (ANOVA) впливу дози та тривалості дії інсектицидів на фосфатазну активність ґрунту

Інсектициди	Джерело варіювання	Ступені свободи	Середнє	Відхилення	Відсоток варіювання (%)	F	p
1	2	3	4	5	6	7	8
Тіаметоксам Кисла фосфатаза ґрунту	Доза	3	570	190	23	7,9	< 0,001
	Час	3	1435,2	478,4	57	19,8	< 0,001
	Доза × час	9	1344,7	149,4	18	6,2	< 0,001
Тіаметоксам Лужна фосфатаза ґрунту	Доза	3	2597,5	865,8	72	47,3	< 0,001
	Час	3	428,6	142,9	12	7,8	< 0,001
	Доза × час	9	1561	173,4	14	9,5	< 0,001
Клотіанідин. Кисла фосфатаза ґрунту	Доза	3	259,3	86,4	18	24,3	< 0,001
	Час	3	843,1	281	59	79,1	< 0,001
	Доза × час	9	971,2	107,9	23	30,4	< 0,001

Закінчення таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8
Клотіанідін. Лужна фосфа- таза ґрунту	Доза	3	1942,2	647,4	61	130,7	< 0,001
	Час	3	952,4	317,5	30	64,1	< 0,001
	Доза × час	9	849,8	94,4	9	19,1	< 0,001
Тіаклопрід. Кисла фосфа- таза ґрунту	Доза	3	1349,5	449,8	26	16,5	< 0,001
	Час	3	3286,3	1095,4	64	40,1	< 0,001
	Доза × час	9	1187,6	132	8	4,8	< 0,001
Тіаклопрід. Лужна фосфа- таза ґрунту	Доза	3	2998,8	999,6	60	56,4	< 0,001
	Час	3	1740,4	580,1	35	32,7	< 0,001
	Доза × час	9	643,9	71,5	4	4	< 0,001
Хлорпіріфос Кисла фосфа- таза ґрунту	Доза	3	4345,8	1448,6	37	216	< 0,001
	Час	3	6654,4	2218,1	57	330,8	< 0,001
	Доза × час	9	2176,5	241,8	6	36,1	< 0,001
Хлорпіріфос Лужна фосфа- таза ґрунту	Доза	3	4356,8	1452,3	76	114,6	< 0,001
	Час	3	989,1	329,7	17	26	< 0,001
	Доза × час	9	939,2	104,4	5	8,2	< 0,001

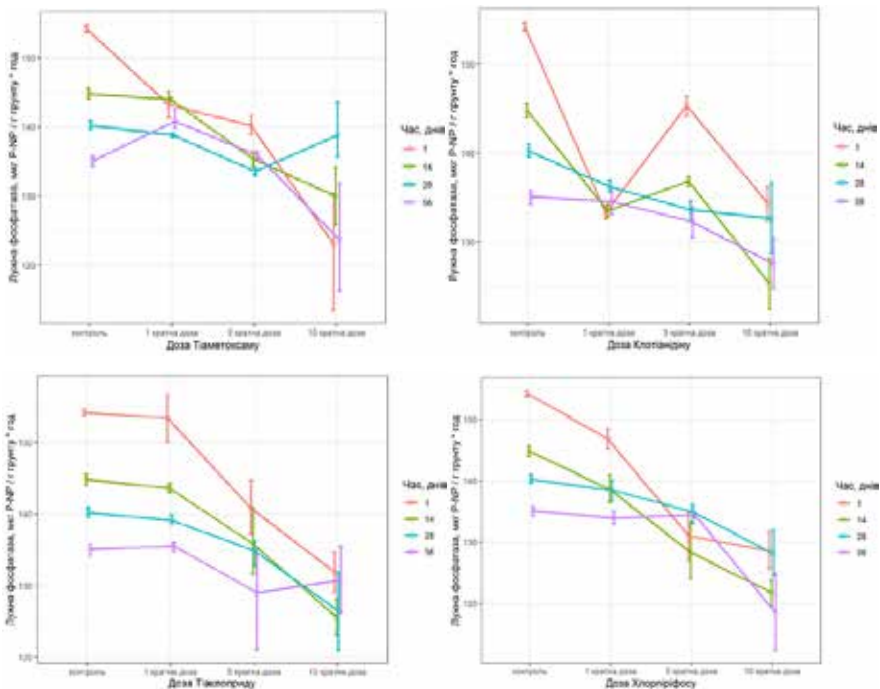


Рис. 3. Вплив різних доз інсектицидів на активність лужної фосфатази ґрунту в умовах зрошення

Зі збільшенням кратності дози активність кислої фосфатази в усіх варіантах досліджень інсектицидів статистично значимо (табл. 3) зменшувалась при експозиції до двох тижнів (рис. 4). При більш тривалій дії тіаметоксаму від 28 до

56 днів ферментативна активність зі збільшенням дози несуттєво відхилялась від контрольних показників. Вірогідно, це свідчить про те, що при більшій тривалості інкубації інсектицидів з'являється резистентність у бактеріальних угруповань і відбувається відновлення популяції відповідних мікроорганізмів.

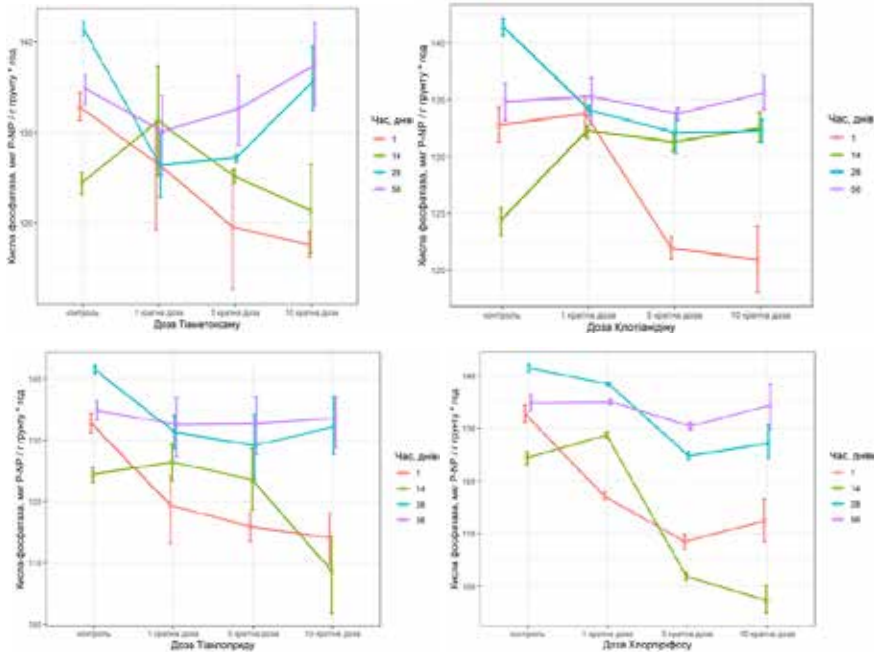


Рис. 4. Вплив різних доз інсектицидів на активність кислій фосфатази ґрунту в умовах зрошення

Трансформація азоту в ґрунті відбувається в результаті життєдіяльності мікроорганізмів внаслідок перетворення азотовмісних органічних речовин у мінеральні з'єднання азоту. Цей процес складається із двох етапів: амоніфікації – окислення азотовмісних речовин до утворення солей амонію через вивільнення аміаку і його нейтралізації органічними і неорганічними кислотами та нітрифікації – утворення нітритів (NO_2^-) та нітратів (NO_3^-) з солей амонію. [10, с. 121].

Внесення в ґрунт досліджуваних неонікотиноїдних інсектицидів в 1-но кратній, 5-ти кратній та 10-ти кратній дозах статистично достовірно (табл. 4) підвищувало активність процесів амоніфікації протягом 56 днів експозиції в порівнянні з контролем (рис. 5). Вміст аміачного азоту в ґрунті в 1 кратній дозі хлорпірифосу до 56 доби збільшувався, а в підвищеній 5 кратній дозі зменшувався протягом перших 14 днів експозиції і збільшувався при більшій тривалості контамінації. Це свідчить про те, що низька концентрація хлорпірифосу та продуктів його деградації стимулює розвиток бактерій, що беруть участь в процесах амоніфікації органічних речовин. При 5-ти кратній дозі інсектициду відбувається інгібування процесів амоніфікації протягом двох тижнів, а в більш тривалій експозиції активність трансформації органічних сполук до аміачного азоту збільшується. Це є наслідком появи резистентності в мікроорганізмів до досліджуваних препаратів, стимуляції використання різних джерел органічного азоту та біодеградації інсектициду [4, с. 9].

Таблиця 4

Дисперсійний аналіз (ANOVA) впливу дози та тривалості дії інсектицидів на азот-трансформуючу активність ґрунту

Інсектицид	Джерело варіювання	Ступені свободи	Середнє	Відхилення	Відсоток варіювання (%)	F	p
Тіаметоксам Трансформація азоту N-NO ₃	Доза	3	1690	563,3	75	309,5	< 0,001
	Час	3	190,7	63,6	8	34,9	< 0,001
	Доза × час	9	1080,2	120	16	65,9	< 0,001
Тіаметоксам Трансформація азоту N-NH ₄	Доза	3	231,2	77,1	84	170,6	< 0,001
	Час	3	26	8,7	9	19,2	< 0,001
	Доза × час	9	47,7	5,3	6	11,7	< 0,001
Клотіанідин Трансформація азоту N-NO ₃	Доза	3	833,6	277,9	78	180,2	< 0,001
	Час	3	33,7	11,2	3	7,3	< 0,001
	Доза × час	9	570,7	63,4	18	41,1	< 0,001
Клотіанідин Трансформація азоту N-NH ₄	Доза	3	155,4	51,8	75	78,1	< 0,001
	Час	3	20,1	6,7	10	10,1	< 0,001
	Доза × час	9	87,5	9,7	14	14,7	< 0,001
Тіаклоприд Трансформація азоту N-NO ₃	Доза	3	1691,3	563,8	83	532,8	< 0,001
	Час	3	140,9	47	7	44,4	< 0,001
	Доза × час	9	642,6	71,4	10	67,5	< 0,001
Тіаклоприд Трансформація азоту N-NH ₄	Доза	3	336,8	112,3	67	145,4	< 0,001
	Час	3	137,9	46	27	59,5	< 0,001
	Доза × час	9	87,6	9,7	6	12,6	< 0,001
Хлорпірифос Трансформація азоту N-NO ₃	Доза	3	1908,4	636,1	77	168,1	< 0,001
	Час	3	204,2	68,1	8	18	< 0,001
	Доза × час	9	1078,9	119,9	14	31,7	< 0,001
Хлорпірифос Трансформація азоту N-NH ₄	Доза	3	527,4	263,7	77	350,3	< 0,001
	Час	3	154,3	51,4	15	68,3	< 0,001
	Доза × час	9	152,3	25,4	7	33,7	< 0,001

Процеси нітрифікації під час контамінації ґрунту досліджуваними інсектицидами в 1-но кратній, 5-ти кратній та 10-ти кратній дозах статистично достовірно уповільнювались до 28 днів експозиції (табл. 4). Вірогідно, це пояснюється стресовою або токсичною дією інсектицидів, що знижує популяцію нітратних бактерій [11, с. 14]. При більш тривалій експозиції до 58 днів вміст нітрат-аніонів в ґрунті знаходився на рівні контрольних зразків. Можливо, це свідчить про здатність мікробних популяцій виробляти резистентність до токсичної дії інсектицидів, поновлення проліферації і активності процесів нітрифікації до контрольного рівня [4, с. 9].

Дегідрогеназа – позаклітинний фермент, що бере участь на початкових етапах окислення органічних речовин при перенесенні електронів або водню від субстратів до акцепторів. Дегідрогеназна активність є індикатором мікробної окисної активності, яка характеризує ефективність процесів деградації органічної речовини та оцінки мікробіологічної активності у ґрунті [12, с. 45]. Досліджувані інсектициди суттєво значуще при $P < 0.001$ (табл. 5) впливали на дегідрогеназну активність ґрунту. Відмічено, що пригнічення ферментативної активності знаходилось у прямій залежності від збільшення тривалості інкубації та кратності дози досліджуваних

препаратів (рис. 6). Найменші значення показників активності дегідрогенази спостерігались на чотирнадцятий день після внесення інсектицидів та корелювали з дозою інсектициду. При більш тривалій експозиції активність незначно збільшувалась, що, можливо, свідчить про прояви резистентності мікробних угруповань до токсичної дії досліджуваних інсектицидів та відновлення біомаси мікроорганізмів в ґрунті.

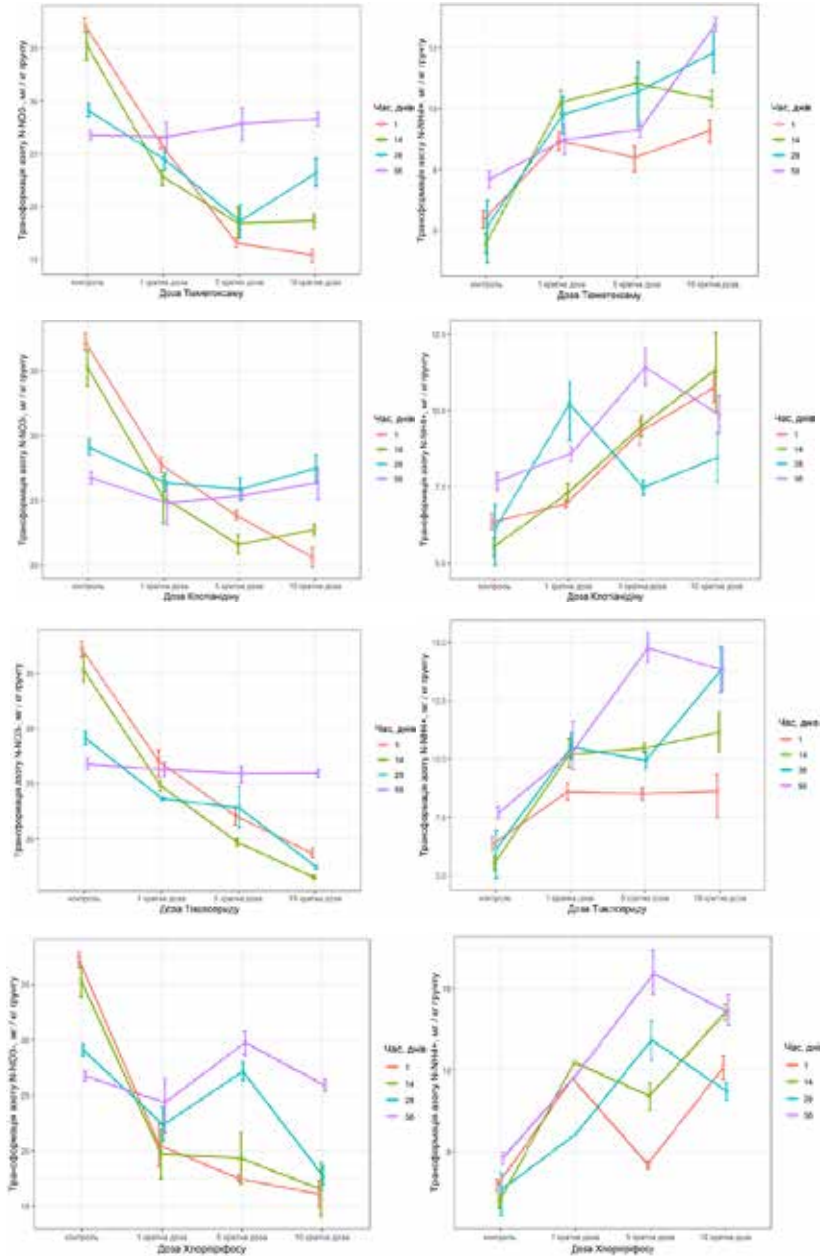


Рис. 5. Вплив різних доз інсектицидів на трансформацію азоту ґрунту в умовах зрошення

Таблиця 5

Дисперсійний аналіз (ANOVA) впливу дози та тривалості дії інсектицидів на дегідрогеназну активність ґрунту

Інсектицид	Джерело варіювання	Ступені свободи	Середнє	Відхилення	Відсоток варіювання (%)	F	p
Тіаметоксам	Доза	3	1090,1	363,4	78	637,1	< 0,001
	Час	3	205	68,3	15	119,8	< 0,001
	Доза × час	9	301,5	33,5	7	58,7	< 0,001
Клотіанідин	Доза	3	2033,3	677,8	78	2514,9	< 0,001
	Час	3	458,7	152,9	18	567,4	< 0,001
	Доза × час	9	318,8	35,4	4	131,4	< 0,001
Тіаклоприд	Доза	3	1301,3	433,8	81	261,2	< 0,001
	Час	3	214,8	71,6	13	43,1	< 0,001
	Доза × час	9	238,9	26,5	5	16	< 0,001
Хлорпірифос	Доза	3	1798,4	599,5	88	3378,5	< 0,001
	Час	3	139	46,3	7	261,2	< 0,001
	Доза × час	9	341,1	37,9	6	213,6	< 0,001

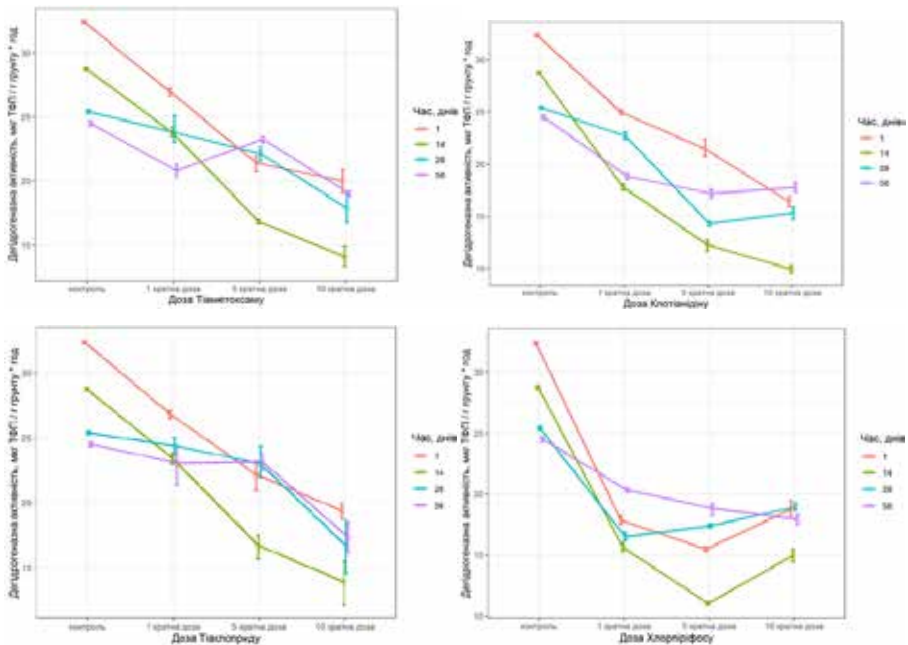


Рис. 6. Вплив різних доз інсектицидів на дегідрогеназну активність ґрунту в умовах зрощення

Висновки. Встановлено, що інсектициди навіть у рекомендованих нормах змінюють фізико-хімічні характеристики ґрунтової екосистеми. У результаті досліджень виявлено інгібуючу дію всіх досліджуваних препаратів на ґрунтове дихання, активність лужної фосфатази і дегідрогенази. Активність уреазы та кислій

фосфатази під час експозиції інсектицидів протягом 14 днів знижувалась, а при збільшенні тривалості дії препаратів незначно підвищувалась. Це може свідчити про утворення в бактеріальних угрупованнях ґрунту резистентних популяцій при більшій тривалості дії інсектицидів. Крім того, досліджувані неонікатиноїдні інсектициди в різних дозах викликали посилення процесів амоніфікації протягом 56 днів експозиції в порівнянні з контролем та уповільнювали нітрифікацію до 28 днів експозиції. Низька доза хлорпірифосу до 56 доби стимулювала збільшення утворення аміачного азоту в ґрунті, а підвищені дози викликали зменшення вмісту аміачного азоту протягом перших 14 днів експозиції і повільне збільшення при подовженні тривалості контамінації. Вірогідно, це пов'язане з токсичністю хлорпірифосу в підвищених дозах для мікроорганізмів. Таким чином, активність ферментів є важливим показником гомеостазу ґрунту під час визначення особливостей впливу інсектицидів на процеси життєдіяльності мікроорганізмів в умовах зрошення.

Подальші дослідження різних параметрів ґрунту, таких як зміни в угрупованнях мікроорганізмів, мікрофауни, ферментативної активності, хімічного складу, є важливими для оцінки токсичності та процесів біодеградації пестицидів в агро-екоценозах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Peng Zhang, Chao Ren, Hongwen Sun, Lujuan Min Sorption, desorption and degradation of neonicotinoids in four agricultural soils and their effects on soil microorganisms *Sci Total Environ.* 2018 Feb 15;615:59-69. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.097.
2. Feng Ge, Ling-Yan Zhou, Ying Wang, Yuan Ma, Shan Zhai, Zhong-Hua Liu, Yi-Jun Dai, Sheng Yuan Hydrolysis of the neonicotinoid insecticide thiacloprid by the N₂-fixing bacterium *Ensifer meliloti* CGMCC 7333 *International Biodeterioration & Biodegradation.* Volume 93, September 2014. Pages 10–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.05.001>.
3. Guangli Wang, Yanjiao Zhao, Hao Gao, Wenlong Yue, Minghua Xiong, Feng Li, Hui Zhang, Wei Ge Co-metabolic biodegradation of acetamiprid by *Pseudoxanthomonas* sp. AAP-7 isolated from a long-term acetamiprid-polluted soil. *Bioresource Technology.* Volume 150, December 2013, Pages 259–265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.10.008>.
4. Effects on soil microbial community after exposure to neonicotinoid insecticides thiamethoxam and dinotefuran Bo Yu, Ziyu Chen, Xiaoxia Lu, Yuting Huang, Ying Zhou, Qi Zhang, Dan Wang, Jingyao Li. *Science of the Total Environment.* Volume 725, 10 July 2020, 138328. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138328>. P. 1–11.
5. Filimon, SO Voia, R Popescu, G Dumitrescu, LP Ciochina, M Mituletu et al The effect of some insecticides on soil microorganisms based on enzymatic and bacteriological analyses. *Romanian Biotechnological Letters.* 2015; 20 (3): 10439–10447.
6. Агрохімічний аналіз : підручник / М.М. Городній, А.П. Лісовал, А.В. Бикин та ін. / За ред. М.М. Городнього, 2-е видання. Київ : Арістей, 2005. 476 с.
7. Ashim Chowdhury Saswati Pradhan · Monidipta Saha · Nilanjan Sanyal Impact of pesticides on soil microbiological parameters and possible bioremediation strategies *Indian J. Microbiol.* (March 2008) 48:114–127 DOI: 10.1007/s12088-008-0011-8.
8. Baboo M, Pasayat M, Samal A, Kujur M, Maharana JK, Pate AK. Effect of four herbicides on soil organic carbon, microbial biomass – enzyme activity and microbial populations in agricultural soil. *IJREST.* 2013; 3(4):100–112 ISSN 2249–9695.
9. Pant HK, Warman PR. Enzymatic hydrolysis of soil organic phosphorus by immobilized phosphatases. *Boil. Fertil Soils.* 2000; 30: 306–311 DOI: 10.1007/s003740050008.

10. Звягинцев Д.Г. Биология почв : учебник для вузов. Москва : МГУ, 2005. 445 с.

11. T. L. Ataikiru, G. S. C. Okpokwasili and P. O. Okerentugba Impact of Pesticides on Microbial Diversity and Enzymes in Soil South Asian. *Journal of Research in Microbiology* 4(2): 1–16, 2019. DOI: 10.9734/SAJRM/2019/v4i230104.

12. Zhang C, Liu G, Xue S, Wang G. Soil bacterial community dynamics reflect changes in plant community and soil properties during the secondary succession of abandoned farmland in the Loess Plateau. *Soil Biol. Biochem.* 2016; 97: 40–49. URL : <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.02.013>.

УДК 631.95:633(477.54)

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.15>

ВИКОРИСТАННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ПОЛЬОВИХ КУЛЬТУР

Непран І.В. – к.с.-г.н., доцент кафедри екології та біотехнології,
Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва

Романова Т.А. – к.с.-г.н., доцент кафедри агрохімії,
Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва

Романов О.В. – к.с.-г.н., доцент кафедри плодоовочівництва та зберігання,
Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва

Сидерація є важливим складником органічної системи землеробства. Зелене добриво є доступним, постійно відновлюваним джерелом органічної речовини. Загортання в ґрунт 20–30 т/га зеленої маси сидератів забезпечує ефект, рівноцінний внесенню аналогічної кількості гною. При цьому витрати енергії на вирощування сидеральної культури зменшуються в 2,5 рази. Тому особливого значення задля ефективності сівозмін і підтримання родючості ґрунту набувають сидеральні культури. Обираючи ту чи іншу сидеральну культуру, потрібно враховувати кліматичні, ґрунтові та організаційно-економічні умови господарства.

Досліджено, що великим резервом дешевих органічних добрив є вирощування сидеральних культур, зелену масу яких приорюють. В умовах ФГ «Вишневий сад» Куп'янського району Харківської області встановлено ефективність сидерального пару для ярого ячменю, а також вплив сидерації на урожайність озимої пшениці сортів Подольнка і Смуглянка. Одержано додатковий урожай продукції 8,6–10,2%. Визначено вміст білка в зерні озимої пшениці. Показано позитивний вплив сидерального пару в екологічно безпечній технології вирощування озимої пшениці на вміст білка (в середньому на 0,8–0,9%). Встановлено позитивний вплив одного з елементів технології вирощування озимої пшениці – сидерації – на технологічні якості продукції.

Передбачено впровадження в екологічно безпечні технології сертифікованих господарств Харківської області та ФГ «Вишневий сад» Куп'янського району Харківської області сидератів, підвищення норм внесення гною, які забезпечують бездефіцитний баланс гумусу, використання комбінованої системи обробітку ґрунту, перехід на біологічні методи захисту рослин.

Ключові слова: екологізація, екологічно безпечна продукція, органічне виробництво, сидерати, сорт, польові культури, екологічно безпечна технологія.

Nepran I.V., Romanova T.A., Romanov O.V. The use of ecologically safe technologies of cultivation of field crops

The current ecological situation in a number of countries has begun to cause alarm, which has led to the emergence of the movement for organic farming, one of the examples of environmentally friendly technologies for growing crops. Greening is a component of the organic system