

ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ ЗА АНТРОПОГЕННИХ ТА КЛІМАТИЧНИХ ВПЛИВІВ CHANGES in SOIL PROPERTIES UNDER ANTHROPOGENIC and CLIMATIC INFLUENCES

УДК 631.427.22

Динаміка чисельності мікроорганізмів у ґрунтовій масі чорнозему опідзоленого після обробки фунгіцидами різного походження

Я. В. Гетьман*, О. Є. Найдьонова

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 09.09.2023 Отримано після доопрацювання 17.12.2023 Затверджено до видання 19.12.2023 Доступно онлайн 28.12.2023	У лабораторному модельному експерименті досліджено динаміку чисельності бактерій і мікроміцетів у ґрунтовій масі чорнозему опідзоленого після одноразової обробки її поверхні фунгіцидами різного походження (хімічні — з діючими речовинами карбендазім, тебуконазол і азоксистробін та біологічні — на основі грибів-антагоністів <i>Trichoderma viride</i> (lignorum) і <i>Chaetomium cochliodes</i>). Ґрунтову масу брали з орного шару ґрунту на ділянці без добрив польового досліді в ідділі агрохімії Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» на території ДП «ДГ «Граківське» (с. Новий Коротич, Харківський район, Харківська область). Впродовж 110 діб компостування за постійної температури оцінено зміни стану мікробних угруповань, зокрема ґрунтових мікроміцетів, і швидкість та повноту їх відновлення порівняно з необробленим фунгіцидами ґрунтом. Стан мікрофлори контролювали чотири рази за період дослідження за параметрами чисельності мікроорганізмів різних еколого-трофічних і таксономічних груп, сумарним біологічним показником (СБП) та показниками, що відображують функціональний стан мікробних ценозів (показники оліготрофності, мінералізації, коефіцієнт мікробної трансформації органічної речовини ґрунту (МТОР)). На п'яту добу після обробки фунгіцидами чисельність бактерій і мікроміцетів у пробах обробленої ґрунтової маси переважно була достовірно вищою, ніж у пробах контролю, а на двадцяту добу, навпаки, значно нижчою — чисельність бактерій була меншою на 20-46 %, мікроміцетів на 16-34 % порівняно з контролем. На сорокову добу у разі застосування хімічних фунгіцидів спостерігалось часткове відновлення чисельності бактерій до рівня необробленого контрольного ґрунту, а чисельність мікроміцетів залишалася нижчою на 9-36 % відносно контролю; за використання біологічних фунгіцидів чисельність мікроміцетів становила 84-94 % відносно контролю. На сто десяту добу чисельність мікрофлори (за сумарним біологічним показником) в обробленому хімічними фунгіцидами ґрунті становила 79-89 % від значень контролю, а в ґрунті, обробленому біофунгіцидами — 102-104 %. Чисельність мікроміцетів знижувалась меншою мірою та найбільш повно і швидко відновилась у разі застосування біологічного фунгіциду Хетоміка. З огляду на важливу роль ґрунтових мікроміцетів у функціонуванні ґрунтів, зменшення їх чисельності внаслідок накопичення в ґрунтах залишкових кількостей хімічних фунгіцидів може негативно відобразитись на багатьох ґрунтово-біологічних процесах, зокрема на розкладі рослинних решток і подальшій трансформації органічної речовини, а також на фітосанітарному стані ґрунту. Тому, з метою уникнення можливих наслідків надмірного або багаторазового застосування гербіцидів і пов'язаної з цим загрози забруднення ґрунтів, необхідно проводити мікробіологічний моніторинг на територіях з високим фунгіцидним навантаженням.

* E-mail: soils.mycology@gmail.com

Форма цитування: Гетьман Я. В., Найдьонова О. Є. Динаміка чисельності мікроорганізмів у ґрунтовій масі чорнозему опідзоленого після обробки фунгіцидами різного походження. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 95. Харків: ННЦ «ІГА ім. О. Н. Соколовського». С. 47-59. <https://doi.org/10.31073/acss95-05>

1. Вступ

Головною метою сільськогосподарського виробництва є стабільне забезпечення населення продуктами харчування, що на теперішній час досягається за умов інтенсифікації землеробства, у тому числі використання засобів захисту рослин.

За оцінками спеціалістів одна третина обсягів сільськогосподарської продукції у світі виробляється за рахунок використання пестицидів, зокрема фунгіцидів [1]. Фунгіциди є засобом захисту сільськогосподарських рослин від грибкових хвороб. Фітопатогенні гриби, які уражують рослини, можуть знаходитись на поверхні насіння або у ґрунті. Захист рослин від грибних хвороб забезпечується обробкою фунгіцидами насіння та/або обприскуванням вегетуючих рослин.

Проте, використання традиційних систем захисту рослин у сформованих умовах не завжди сприяє зниженню шкодочинності хвороби. У зв'язку з цим, боротьба зі

збудниками хвороб рослин в останні роки набула проблемного характеру, а використання тільки хімічного методу захисту не завжди дає бажані результати, натомість призводить до зменшення чисельності мікроорганізмів в агроценозах та появи резистентних форм патогенів [2, 3].

На сьогодні актуальною є проблема негативних наслідків застосування широкого спектру пестицидів, у тому числі й фунгіцидів, у сільському господарстві, що диктує необхідність дослідження їх впливу на ґрунти агроєкосистем [4, 5]. Потрапляючи в ґрунт, фунгіциди піддаються біологічним та фізико-хімічним перетворенням. Саме мікробна трансформація є основним шляхом деструкції фунгіцидів у ґрунті. Тому, застосування різних хімічних речовин також істотно впливає не лише на хімічні, фізико-хімічні та фізичні, а й на біологічні властивості ґрунту, зокрема на комплекси ґрунтових мікроорганізмів. Оскільки крім безпосереднього цільового призначення (пригнічення фітопатогенних мікроміцетів) фунгіциди чинять багатосторонній, часто негативний вплив на всю ґрунтову біоту, зокрема на угруповання грибів, що, своєю чергою, призводить до несприятливих змін властивостей ґрунту, і як наслідок, до зниження продуктивності рослин [6–9], зростає необхідність оцінювання наслідків застосування фунгіцидів і пошуку більш безпечних для довкілля альтернатив.

Одним із основних чинників процесу ґрунтоутворення є функціонування ґрунтової мікрофлори, вміст якої в 1 г ґрунту, згідно з даними Є.М. Мішустіна [10], сягає мільярдів клітин. Мікроорганізми в ґрунтах виконують широкий спектр екологічних функцій, найважливішою з яких є розкладання органічних речовин. Вони також регулюють фітосанітарний стан ґрунту відіграючи суттєву роль у процесах самоочищення антропогенно забрудненого ґрунту і забезпечуючи його здоров'я [11–13].

Стан угруповання ґрунтових мікроорганізмів, зокрема мікроміцетів, є індикатором ступеня антропогенного навантаження на екосистему. Мікроміцети чутливо реагують на зміни властивостей ґрунту за дії різних полютантів і характеризуються широким спектром адаптивних властивостей. Порушення їх складу й структурних особливостей проявляються раніше, ніж зміни фізико-хімічних властивостей ґрунту, що робить їх біомаркерами, придатними для прогнозування стану ґрунтового середовища [14, 15].

Негативні впливи фунгіцидів на мікробне різноманіття та життєдіяльність мікроорганізмів ґрунту були описані багатьма дослідниками [16–18]. Так, у ґрунтах, оброблених фунгіцидами, спостерігалась інактивація мікроорганізмів, що фіксують азот [9], і бактерій, що розчиняють важкодоступні сполуки фосфору [19]. Також було доведено негативний вплив карбендазіма, тебуконазола та азоксістробіна на розвиток ґрунтових мікроміцетів, що полягало у зниженні їх кількості і видового різноманіття [9, 20, 21]. Але незважаючи на екологічні ризики, пов'язані із використанням фунгіцидів, вони дозволяють забезпечувати ефективний захист сільськогосподарських культур, і тому у найближчому майбутньому відмова від застосування фунгіцидів не є можливою, що зумовлює необхідність досліджень їх впливу на нецільові об'єкти.

З огляду на це, виникає потреба пошуку нових підходів до вибору й використання фунгіцидів та розробки новітніх методів моніторингу ґрунтів, які зазнали їх впливу. Метою дослідження було встановити ступінь впливу фунгіцидів різного походження з різними діючими речовинами на чисельність мікроорганізмів різних еколого-трофічних і таксономічних груп у чорноземі опідзоленому, простежити динаміку її змін у часі, встановити швидкість та повноту її відновлення.

2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

Лабораторно-модельний дослід для визначення впливу різних фунгіцидів на ґрунтову мікрофлору проведено у секторі мікробіології ґрунтів Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» у травні-серпні 2021 р.

Ґрунтову масу для дослідів відбирали 15 квітня 2021 р. з орного шару (0–25 см) ділянки без внесення добрив у польовому досліді відділу агрохімії Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» на території ДП «ДГ «Граківське» (с. Новий Коротич, Харківський район, Харківська область). Ґрунт — чорнозем опідзолений важкосуглинковий. У 2020 р. у польовому досліді вирощували сою.

Відібрану ґрунтову масу просіювали через сито з діаметром отворів 0,5 см, поміщали по 500 г маси в посудини об'ємом 1 л, площа поверхні ґрунтової маси становила 10 см². Поверхню ґрунту обробляли 5 різними фунгіцидами в дозах, рекомендованих для обробки рослин в період вегетації. Кожним фунгіцидом оброблено ґрунт у трьох посудинах. Усі 15 посудин з обробленим ґрунтом і 3 контрольних (з

необробленим) одночасно компостували в термостаті при постійній температурі (30°C) впродовж 110 діб.

Для дослідження впливу на ґрунтові мікроорганізми обрали фунгіциди двох типів — хімічні й біологічні.

Три хімічних однокомпонентних фунгіциди на основі різних діючих речовин з різними механізмами дії на організми-мішені:

- Альфа Стандарт (виробник — ALFASmartAgro), діюча речовина — карбендазим, 500 г/л (хімічної групи безимідазолів). Фунгітоксична дія — інгібітор поділу клітин.

- Фолікур (виробник — Bayer), діюча речовина — тебуконазол, 250 г/л (хімічної групи триазолів). Фунгітоксична дія — інгібітор синтезу стеролу в мембрані.

- Квадріс (виробник — Syngenta), діюча речовина — азоксистробін, 250 г/л (хімічної групи стробілуринів). Фунгітоксична дія — інгібітор клітинного дихання.

Два біологічних фунгіциди на основі грибів, що мають антагоністичні властивості до збудників хвороб:

- Триходермін (виробник — ТОВ «Біо центр»), діючий агент — гриб-антагоніст *Trichoderma viride* (lignorum). Механізм дії — пригнічує розвиток фітопатогенів прямим паразитуванням, конкуренцією за субстрат, а також виділяє біологічно активні речовини, які пригнічують репродуктивну функцію фітопатогенів.

- Хетомік (виробник — Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН), діючий агент — гриб-антагоніст *Chaetomium cohlides*. Механізм дії — стримує розвиток патогенів за рахунок конкуренції за субстрат, а також виділяє біологічно активні речовини, які індукують системну імунну відповідь рослин на дію патогенів.

Проби ґрунтової маси для мікробіологічних досліджень відбирали через 5, 20, 40 і 110 діб компостування після її обробки фунгіцидами, кожного разу в іншому секторі поверхні ґрунту у посудині.

Чисельність ґрунтових мікроорганізмів різних еколого-трофічних і таксономічних груп визначали методом висівання водної суспензії ґрунту відповідних розведень на такі щільні селективні живильні середовища [22]: для визначення чисельності бактерій, що засвоюють органічний азот (амоніфікаторів), — на м'ясо-пептоновий агар (МПА); бактерій, що засвоюють азот мінеральних сполук, та актинобактерій — на крохмало-амонійний агар (КАА); оліготрофів — на голодний агар (ГА); педотрофів — на ґрунтовий агар (ГА); мікроміцетів — на середовища Ріхтера та Чапека.

Кожну пробу обробленого фунгіцидами і контрольного ґрунту висівали на 3 паралельні чашки Петрі кожного живильного середовища.

Показники, що характеризують напруженість мінералізаційних процесів (показник мінералізації [23]), трофічний режим ґрунту (показник оліготрофності [24]) і спрямованість процесів трансформації органічної речовини (коефіцієнт мікробної трансформації органічної речовини ґрунту (МТОРГ) [25]) визначали за співвідношенням окремих груп мікроорганізмів. Сумарний біологічний показник (СБП) [26], розраховували шляхом узагальнення даних чисельності мікрофлори. Значення граничної похибки в дослідженні визначали способом встановлення значення найменшої істотної різниці (HIP) між порівнюваними варіантами за рівня вірогідності 95 %.

Статистичну обробку здобутих даних проводили з використанням пакетів програм Statistica, R-Studio та Microsoft Excel.

2. Результати досліджень

3.1. Вплив фунгіцидів на динаміку чисельності ґрунтових мікроорганізмів

Фунгіциди суттєво вплинули на чисельність ґрунтових мікроорганізмів різних еколого-трофічних груп. На п'яту добу після внесення фунгіцидів спостерігалось переважно зростання чисельності мікроорганізмів, що засвоюють органічні форми азоту, оліготрофів та педотрофів порівняно з контролем, але відбулось помітне зниження чисельності бактерій, що засвоюють мінеральні форми азоту, та, внаслідок цього, загальної чисельності евтрофів (Рис. 1). Зазначені зміни були статистично достовірними. Так, після обробки ґрунту фунгіцидом Альфа-Стандарт з діючою речовиною карбендазим чисельність бактерій майже всіх досліджуваних еколого-трофічних груп, крім бактерій, що засвоюють мінеральний азот, була вищою, ніж у необробленому ґрунті. Фунгіцид Фолікур з діючою речовиною тебуконазол підвищив кількість амоніфікаторів та педотрофів, але значно знизив чисельність бактерій усіх інших досліджуваних груп: мікроорганізмів, що засвоюють мінеральні сполуки азоту, на 51 %, оліготрофів на 17 %, загальної кількості евтрофів на 35 %. Фунгіцид Квадріс із діючою речовиною азоксистробін підвищив чисельність амоніфікаторів і педотрофів на 26 %, оліготрофів на 51 %, але знизив

кількість бактерій, що засвоюють мінеральний азот, на 34 %, та евтрофів на 17 %. За обробки біологічним фунгіцидом Триходерміном нижчою за показники контролю була чисельність бактерій, що засвоюють органічний і мінеральний азот, а чисельність оліготрофів і педотрофів, навпаки, була вищою.

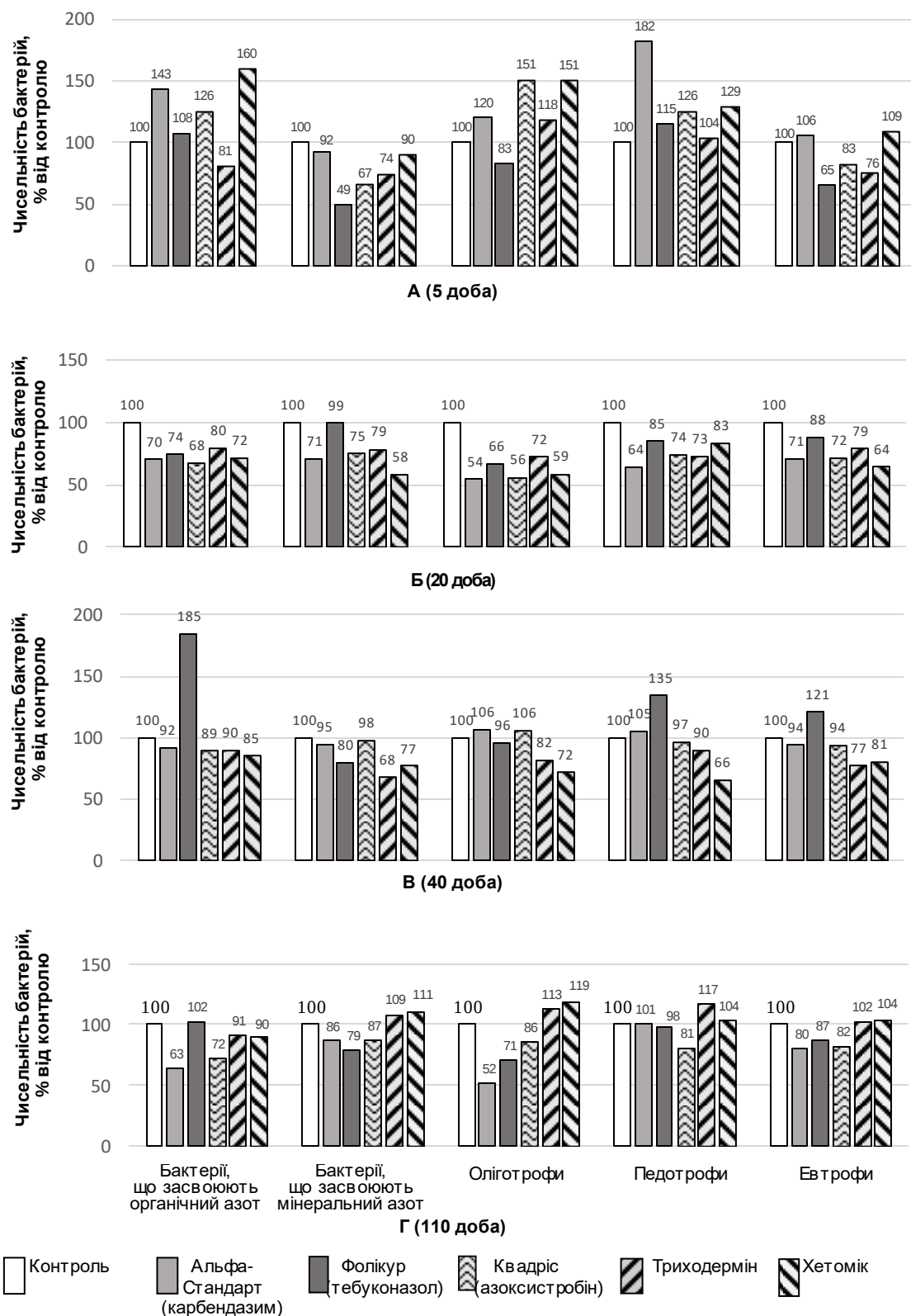


Рис. 1. Динаміка чисельності бактерій після обробки ґрунту фунгіцидами

Після обробки ґрунту Хетоміком підвищеною відносно контрольного ґрунту була чисельність усіх досліджуваних еколого-трофічних груп, окрім бактерій, що засвоюють

мінеральні форми азоту, чисельність яких була нижчою на 10 %. Загальною тенденцією для цього строку спостережень було достовірне зниження чисельності мікроорганізмів, що засвоюють мінеральні сполуки азоту, після застосування всіх п'яток фунгіцидів. Найбільший негативний вплив на чисельність мікроорганізмів зазначених груп виявлено у пробах, оброблених фунгіцидом Фолікур з діючою речовиною тебуконазол.

На двадцяті добу після обробки ґрунту фунгіцидами чисельність мікроорганізмів усіх досліджуваних еколого-трофічних груп в усіх пробах обробленого ґрунту стала значно нижчою за аналогічні показники контрольного ґрунту. Чисельність бактерій, що засвоюють органічні форми азоту, знизилась на 20–32 % порівняно з контролем, зокрема за обробки хімічними фунгіцидами на 26–32 %, біологічними — на 20–28 %. Кількість бактерій, що засвоюють мінеральні форми азоту, знизилась більш суттєво — на 21–42 % через дію всіх фунгіцидів, крім Фолікура з діючою речовиною тебуконазол. Чисельність оліготрофів на двадцяті добу після обробки фунгіцидами знизилась на 28–46 %. Суттєво нижчою була також чисельність педотрофів — на 15–36 %, і загальна чисельність евтрофів — на 12–36 %.

На сорокову добу після обробки ґрунту фунгіцидами чисельність досліджуваних еколого-трофічних груп бактерій наблизилась до значень контрольного ґрунту, у деяких випадках вона була навіть більшою, ніж у ґрунті контролю. Чисельність органотрофних бактерій у пробах обробленого фунгіцидами ґрунту достовірно не відрізнялась від їх чисельності у контрольному ґрунті, лише у ґрунті, обробленому тебуконазолом (Фолікур) спостерігалось підвищення кількості цих бактерій. Чисельність бактерій, що утилізують мінеральні сполуки азоту, за застосування всіх досліджуваних фунгіцидів залишалась достовірно нижчою, ніж у контрольному ґрунті (на 5–32 %), за винятком ґрунту, обробленого азоксистробіном (Квадріс), де різниця не була достовірною. Чисельність оліготрофних бактерій за обробки фунгіцидами з діючими речовинами карбендазім і азоксистробін достовірно зросла на 6 %, а за дії інших фунгіцидів — зменшилася (на 4 % за застосування тебуконазолу, і на 18 і 28 % за застосування Триходерміну і Хетоміка). Чисельність педотрофів за обробки хімічними фунгіцидами була або без суттєвих відмінностей від контролю, або вищою, а за обробки біофунгіцидами залишалась нижчою на 10 і 34 %.

Останній облік чисельності мікрофлори проводили на сто десяту добу після обробки досліджуваними фунгіцидами. В ґрунті, обробленому хімічними фунгіцидами, на 28–37 % меншою були чисельність бактерій, що засвоюють органічний азот, (крім ґрунту, обробленого тебуконазолом (Фолікур), де різниця у їх чисельності не була достовірною), а також чисельність бактерій, що засвоюють мінеральний азот, на 13–21 %, і оліготрофів — на 14–49 %. Більш стійкою до дії хімічних фунгіцидів на цьому строку спостережень виявилась група педотрофних мікроорганізмів, чисельність яких на сто десяту добу після обробки фунгіцидом з діючою речовиною карбендазім (Альфа-Стандарт) достовірно не відрізнялась від значення у контрольному ґрунті, у ґрунті, обробленому тебуконазолом (Фолікур), була нижчою на 2 %, у ґрунті, обробленому азоксистробіном (Квадріс), — на 19 %. За дії біологічних фунгіцидів Триходерміну та Хетоміка чисельність мікроорганізмів майже всіх еколого-трофічних груп була достовірно більшою за відповідні значення в контрольному ґрунті: бактерій, що засвоюють мінеральний азот, на 9–11 %, оліготрофів на 13–19 %, педотрофів на 4–17 %. Нижчою за чисельність у контрольному ґрунті тут була лише чисельність органотрофних бактерій, але ступінь зменшення відносно контролю був меншим, ніж для проб ґрунту, обробленого хімічними фунгіцидами (у ґрунті, обробленому Триходерміном, на 9, Хетоміком — на 10 %).

Схожою була реакція відповіді ґрунтових мікроміцетів на дію фунгіцидів. Так, на п'яту добу спостерігалось невелике, але статистично достовірне збільшення чисельності мікроміцетів на живильних середовищах (ЖС) Ріхтера і Чапека під дією всіх використаних фунгіцидів, окрім Фолікуру з діючою речовиною тебуконазол. Його дія знизилася чисельність ґрунтових грибів на 18–19 % (Рис. 2).

На двадцяті добу спостерігалось суттєве зниження чисельності ґрунтових мікроміцетів у ґрунті, обробленому фунгіцидами, порівняно з контролем. Так, за дії хімічних фунгіцидів знизилась кількість грибів на 28–41 % на ЖС Чапека і на 25–33 % на ЖС Ріхтера. Зниження чисельності мікроміцетів відбувалось і за дії біологічних фунгіцидів, але його ступінь був меншим: на 10–23 % на ЖС Чапека і на 19–26 % на ЖС Ріхтера.

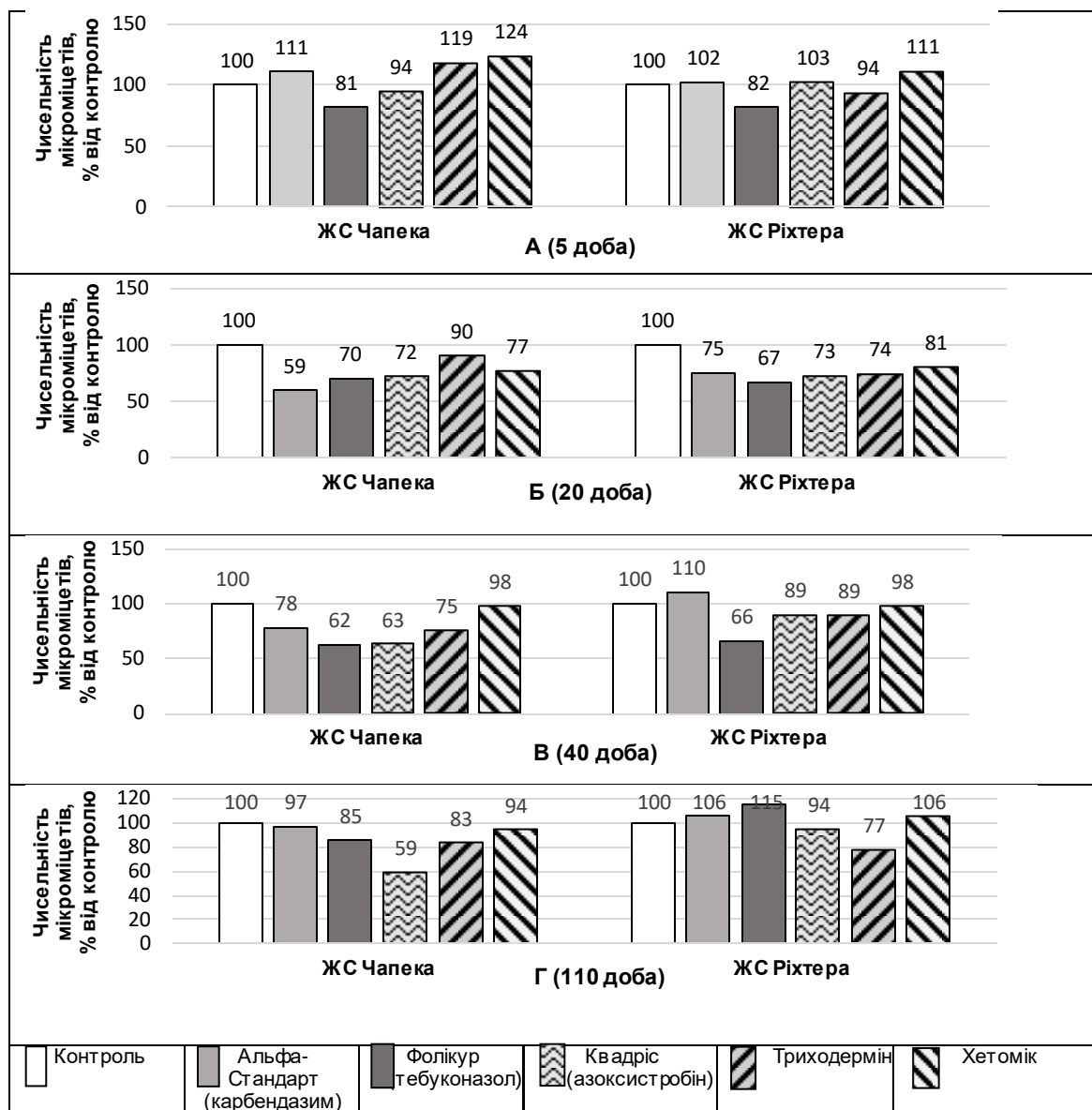


Рис. 2. Динаміка чисельності мікроміцетів після обробки ґрунту фунгіцидами

У наступний строк спостережень (сорокова доба після обробки ґрунту фунгіцидами) ми також виявили знижену, порівняно з необробленим ґрунтом, чисельність грибів у пробах ґрунту за дії всіх використаних фунгіцидів. У ґрунті, обробленому фунгіцидом Фолікур з діючою речовиною тебуконазол чисельність мікроміцетів була нижчою на 34–38 %, фунгіцидом Квадріс з діючою речовиною азоксистробін — на 11–37 %, біологічним фунгіцидом Триходерміном — на 11–25 %. Найменше пригнічував розвиток мікроміцетів на цьому строку спостережень Альфа-Стандарт з діючою речовиною карбендазим. За обробки Хетоміком чисельність грибів у ґрунті на сорокову добу після застосування достовірно не відрізнялася від значень у контрольному необробленому ґрунті.

На сто десяту добу чисельність ґрунтових мікроміцетів у ґрунті, обробленому фунгіцидами, наблизилася до значень на контролі, максимально — за дії Хетоміка та фунгіциду Альфа-Стандарт з діючою речовиною карбендазим. У ґрунті, обробленому фунгіцидом Квадріс з діючою речовиною азоксистробін, чисельність мікроміцетів у середньому за результатами обліку на двох середовищах була нижчою на 29 %, ніж у контрольному ґрунті.

3.2. Вплив дії фунгіцидів на функціональний стан мікробного ценозу

Для нормального функціонування ґрунтів важливим є збереження не тільки чисельності ґрунтових мікроорганізмів, але і їх оптимального, для певного ґрунту, співвідношення. Одноразова обробка ґрунту фунгіцидами призвела до змін значень

показників, які характеризують трофічний режим ґрунту і характер мікробіологічних процесів (Табл. 1).

Показник оліготрофності є індикатором насиченості ґрунту легкозасвоюваними поживними речовинами. Впродовж усіх строків спостережень його значення були переважно нижчими за одиницю в усіх варіантах, що може опосередковано свідчити про достатню насиченість ґрунту доступними поживними речовинами. З плином часу значення показника оліготрофності дещо підвищувалися як для контрольного ґрунту, так і для обробленого фунгіцидами, але без суттєвого перевищення одиниці. Тому можна стверджувати про відсутність помітного однозначного впливу обробки фунгіцидами на трофічний режим ґрунту.

Показник мінералізації є індикатором інтенсивності протікання процесів мінералізації та засвоєння азотних сполук у ґрунті. Його значення визначається відношенням чисельності мікроорганізмів, що засвоюють мінеральні сполуки азоту, до кількості мікроорганізмів, що утилізують його органічні сполуки. Для всіх варіантів із застосуванням фунгіцидів на п'яту добу після обробки значення показника мінералізації були зниженими відносно значень для контрольного ґрунту, що свідчить про послаблення мінералізаційної функції мікробних ценозів. Проте, на двадцяту добу значення показника мінералізації за використання хімічних фунгіцидів були навпаки дещо вищими за показник контрольного ґрунту. На сорокову добу вищими за контроль були значення показника мінералізації ґрунту, обробленого карбендазімом, і ґрунту, обробленого азоксистробіном, для інших спостерігалось зниження значень показника. На сто десяту добу відмічається збільшення значень цього показника відносно контролю за дії всіх фунгіцидів, крім Фолікура з діючою речовиною тебуконазолом.

Таблиця 1

Зміни значень показників, що характеризують спрямованість мікробіологічних процесів та загальний стан ґрунтової мікрофлори, після обробки фунгіцидами

Варіант (фунгіцид, діюча речовина)	Значення показників			
	оліготрофності	мінералізації	МТОРГ	СБП, %
5 доба				
Контроль (без фунгіцидів)	0,38	2,74	6,12	100
Альфа-Стандарт (карбендазім)	0,43	1,76	10,05	129
Фолікур (тебуконазол)	0,48	1,25	8,69	87
Квадріс (азоксистробін)	0,68	1,45	9,54	113
Триходермін	0,58	2,52	5,06	97
Хетомік	0,52	1,54	11,78	130
20 доба				
Контроль (без фунгіцидів)	1,01	1,26	15,00	100
Альфа-Стандарт (карбендазім)	0,78	1,28	10,49	65
Фолікур (тебуконазол)	0,76	1,69	9,90	79
Квадріс (азоксистробін)	0,79	1,40	9,72	69
Триходермін	0,93	1,25	12,00	77
Хетомік	0,92	1,02	11,86	70
40 доба				
Контроль (без фунгіцидів)	0,78	1,48	8,96	100
Альфа-Стандарт (карбендазім)	0,88	1,52	8,13	98
Фолікур (тебуконазол)	0,61	0,64	25,40	112
Квадріс (азоксистробін)	0,87	1,62	7,70	93
Триходермін	0,83	1,11	9,12	85
Хетомік	0,69	1,33	8,00	77
110 доба				
Контроль (без фунгіцидів)	0,90	2,01	6,11	100
Альфа-Стандарт (карбендазім)	0,58	2,73	3,54	83
Фолікур (тебуконазол)	0,73	1,54	6,87	89
Квадріс (азоксистробін)	0,94	2,43	4,15	79
Триходермін	1,00	2,39	5,28	102
Хетомік	1,03	2,46	5,17	104

Примітка: МТОРГ – коефіцієнт мікробної трансформації органічної речовини ґрунту;
СБП – сумарний біологічний показник.

Значення коефіцієнту МТОРГ для ґрунтів, оброблених фунгіцидами, на п'яту добу були переважно вищими порівняно з контролем. На двадцяту добу після обробки, коли відбулося зниження чисельності мікрофлори, значення коефіцієнту МТОРГ для оброблених фунгіцидами ґрунтів стали нижчими відносно контролю, особливо у випадку

застосування хімічних фунгіцидів, що свідчить про послаблення процесів гуміфікації. Переважно більш низькими значеннями коефіцієнту МТОРГ відрізнялися оброблені фунгіцидами ґрунти і на сороковий і на сто десятий дні спостережень.

Сумарний біологічний показник (СБП) дозволяє узагальнити дані чисельності мікроорганізмів різних груп, оцінити загальний стан мікрофлори ґрунту і порівняти вплив на ґрунт різних фунгіцидів. На п'яту добу після обробки фунгіцидами значення СБП для ґрунту, обробленого фунгіцидом Фолікур з діючою речовиною тебуконазол, на 13 % відхилялося у негативний бік від СБП контрольного необробленого ґрунту, який прийнято за 100 %. Таке відхилення відповідає слабкому ступеню порушення мікробного ценозу. Дещо нижчим (на 3 %) було значення СБП ґрунту, обробленого біологічним фунгіцидом Триходерміном. Утім, відхилення, які не перевищують 10 % не вважаються суттєвими [26], тому мікробний ценоз у даному випадку вважається непорушеним. За обробки іншими фунгіцидами значення СБП перебільшували 100 %. Значне зниження СБП обробленого фунгіцидами ґрунту, зумовлене скороченням чисельності мікроорганізмів усіх досліджуваних груп, відмічалось на двадцяті добу після обробки. За обробки фунгіцидами з діючими речовинами карбендазим і азоксистробін значення СБП відхилялися від значення контрольного ґрунту в бік зниження на 35 і 31 %, що відповідає середньому ступеню порушення стану мікробного ценозу. СБП, розрахований для ґрунту, обробленого фунгіцидом з діючою речовиною тебуконазол, був зниженим відносно контрольного значення на 21 % (слабкий рівень порушення стану мікрофлори). Слабкий і середній ступінь порушення стану мікробних угруповань на двадцяті добу спостерігали і після обробки біологічними фунгіцидами Триходермін і Хетомік (зниження СБП на 23 і 30 % відповідно). На сорокову добу після внесення фунгіцидів, згідно зі значеннями СБП, спостерігалось часткове відновлення загального стану мікробних ценозів ґрунту, обробленого хімічними фунгіцидами, а за обробки Хетоміком і Триходерміном ще були відхилення слабого ступеня (на 15 і 23 %). В останній строк спостережень — на сто десятих добу після обробки фунгіцидами, коефіцієнти МТОРГ оброблених хімічними фунгіцидами ґрунтів знов виявились більш низькими (відхилення від контролю для ґрунтів, оброблених карбендазимою, тебуконазолом і азоксистробіном становило 17, 11 і 21 %). Проте СБП ґрунтів, оброблених біологічними фунгіцидами, були на 2–4 % вищими від контролю.

Таким чином, в результаті одноразової обробки поверхні ґрунту фунгіцидами у концентраціях, відповідних рекомендованим дозам, відбувається тимчасове пригнічення мікробного ценозу, зменшується чисельність ґрунтових бактерій і мікроміцетів. Найбільш суттєвий негативний вплив на чисельність мікрофлори зафіксовано на двадцяті добу після обробки поверхні ґрунту фунгіцидами, причому біологічні фунгіциди так само, як і хімічні, викликали зниження чисельності мікроорганізмів основних екофункціональних груп. Особливо чутливими до дії хімічних фунгіцидів виявились ґрунтові мікроміцети, чисельність яких за застосування фунгіциду з діючою речовиною азоксистробіном була меншою і на сто десятих добу після обробки ним поверхні ґрунту. Проте, на двадцяті добу після обробки фунгіцидами ступінь негативного впливу хімічних препаратів на чисельність нецільових грибів у ґрунті був помітно сильнішим, ніж біологічних. Серед різних екологічних груп бактеріальної мікрофлори найбільш вразливими до дії фунгіцидів виявились бактерії, що засвоюють мінеральні сполуки азоту, і оліготрофи. Щодо швидкості відновлення чисельності мікрофлори ґрунту після обробки фунгіцидами, слід зазначити, що на сорокову добу в пробах ґрунту, обробленого хімічними пестицидами, чисельність мікроорганізмів досліджуваних груп була або без достовірних відмінностей, або ж із достовірними, але незначними відхиленнями у той чи інший бік від їх чисельності у контрольному ґрунті. Відмітимо, що за застосування біологічних препаратів чисельність мікроорганізмів більшості груп у цей час була нижчою за відповідні показники контрольного ґрунту. Але на сто десятих добу в обробленому хімічними речовинами ґрунті знов спостерігалось зниження чисельності мікроорганізмів багатьох груп, тоді як у ґрунті, обробленому біологічними фунгіцидами чисельність мікроорганізмів більшості груп перевищувала показники контролю. Це може пояснюватися тим, що за обробки фунгіцидами хімічного походження в певний період ймовірно розвивалась резистентна до цих речовин мікрофлора, або ті її групи, що розкладають ці речовини чи живляться проміжними продуктами їх розкладу.

4. Обговорення

За результатами наших досліджень виявлено токсичний вплив застосованих фунгіцидів на ґрунтову мікрофлору, зокрема нецільові гриби. Негативними наслідками одноразового обробітку ґрунту фунгіцидами є скорочення чисельності ґрунтових

мікроорганізмів та мікроміцетів, порушення оптимального співвідношення різних груп мікроорганізмів, що вплинуло на функціональний стан мікробного ценозу. Наші експериментальні дані узгоджуються із деякими результатами інших дослідників, викладеними нижче. Схожі результати для фунгіцидів з тими ж діючими речовинами, які ми використовували в нашому експерименті, були в публікаціях багатьох дослідників, де описано негативний вплив фунгіцидів на мікробне різноманіття та біологічну активність ґрунту. Так, у горщиковому та польовому досліді на підзолистому піщаному ґрунті з вирощуванням конюшини червоної (*Trifolium pratense* L.) за використання як протруйника насіння, фунгіциду, у склад якого входить карбендазим, на третій і сьомий день після посіву рослин спостерігали зниження чисельності бактерій на ґрунтовому агарі, грибів на середовищі Мартіна та азотобактера на середовищі Йенсена, на сьомий день — зниження чисельності актиноміцетів [9]. На чотирнадцятий день чисельність мікроорганізмів відновлювалась до рівня у контрольному ґрунті, або перевищувала чисельність у контролі. Також відмічена інактивація нітрогеназної активності у період цвітіння, яка зберігалася впродовж двох років, а у польових умовах посилювалася з часом.

Також деякі автори [20, 21] довели негативний вплив (як і в нашому досліді) карбендазиму, тебуконазолу та азоксистробіну на розвиток ґрунтових мікроміцетів, що полягав у зниженні їх чисельності та видового різноманіття. Польські дослідники визначили вплив препарату Гелікур 250 EW з діючою речовиною тебуконазол, на мікробіологічну та біохімічну активність бурозему та розвиток ячменю ярого (*Hordeum vulgare* L.) [20]. Різними дозами фунгіциду обприскували листя ячменю ярого. Найбільш сприйнятливими до дії фунгіциду, як і у нашому дослідженні, виявилися ґрунтові мікроміцети. Крім того, тебуконазол пригнічував активність майже всіх ґрунтових ферментів та інгібував ріст та розвиток рослин ячменю ярого.

В досліді китайських вчених вивчалась дія тебуконазолу і карбендазиму на мікробну активність заплавної ґрунту, відібраного у районі дельти ріки Хуанхе, яка значно пригнічувалася помірними та високими дозами карбендазиму через сім днів після застосування, а тебуконазол значно гнітив дихання ґрунту та його ферментативну активність [21].

Здобуті нами результати (Рис. 1, 2) також узгоджуються з даними, наведеними в оглядовій статті індійських авторів [27] про токсичну дію карбендазиму на ґрунтові мікроорганізми, його негативний вплив на склад мікробного угруповання ґрунту, чисельність мікробів і функції екосистеми, опосередковані мікробами.

Ми встановили порушення співвідношення різних груп мікрофлори, за яким судять про стан і функціонування мікробного ценозу (Табл. 1). Дослідженнями китайських [28] і тайваньських [29] фахівців також показано, що карбендазим виявляв інгібуючу дію на мікроорганізми і змінював співвідношення чисельності грибів і бактерій [30]. Результати їх досліджень підтверджують, що застосування карбендазиму зменшує мікробну різноманітність ґрунту та тимчасово змінює структуру бактеріального угруповання. Однак в їх дослідженнях чисельність бактерій у ґрунті, обробленому карбендазимом, відновилася до рівня контролю через 126 [28] або 360 [29] днів після першої обробки залежно від застосованих концентрацій фунгіциду. Автори зазначають, що склад ґрунтової мікробіоти не був стабільним упродовж 120 днів культивування [29]. У нашому досліді також показано, що чисельність мікрофлори в обробленому хімічними фунгіцидами ґрунті майже відновилася на сороковий день після обробки, але на сто десятую добу знов виявилась нижчою, ніж у ґрунті контрольного варіанту (Рис. 1).

В іншій статті китайських авторів про негативний вплив хімічного фунгіциду карбендазиму на ґрунтову мікрофлору відмічено зміну структури бактеріального угруповання та угруповання ґрунтових мікроміцетів і встановлено, що застосування карбендазиму змінило домінуючі види в грибних і бактеріальних угрупованнях ґрунту на полях женьшеню та значно зменшило їх видове різноманіття [31]. Карбендазим знижував чисельність і біорізноманіття грибів та ферментативну активність ґрунту.

Тебуконазол є однією з найчастіше використовуваних активних речовин фунгіцидів із групи триазолів, що має високу ефективність у захисті рослин від грибкових захворювань. Однак надто часте його використання може бути небезпечним для ґрунтових екосистем, призводячи до змін у їх біологічному розмаїтті [32]. Триазольні фунгіциди, зокрема тебуконазол, можуть бути токсичними для широкого кола нецільових організмів [33]. В нашому досліді обробка ґрунту тебуконазолом вже на п'яту добу призвела до достовірного зниження чисельності грибів і оліготрофних бактерій (Рис. 1). У лабораторному експерименті турецьких дослідників тебуконазол знизив мікробну біомасу, функціональну мікробну різноманітність ґрунту, інгібував дихання та активність ферментів [32].

Вплив тебуконазолу на ґрунтові мікроорганізми в глинисто-піщаному чорноземі північної Іспанії вивчали при застосуванні фунгіциду в концентраціях 5, 50 та 500 мг/кг

ґрунту. Відбір проб ґрунту проводили на 0, 7, 30, 60 та 90 добу інкубації. У ґрунтах, оброблених тебуконазолом, значення чисельності та активності мікробної біомаси були нижчими порівняно з контролем, а на 30 день значення мікробної біомаси ґрунту, обробленого найвищою дозою тебуконазолу, були на 94,6 % нижчими, ніж у контролі [34]. Наші результати показали найнижчі значення чисельності мікрофлори на 20 добу інкубації.

Надмірне та тривале використання стробілуринів негативно позначається на стані ґрунтової мікрофлори в агроекосистемах. Багато дослідників виявили, що азоксистробін токсичний не тільки для цільових грибів, але й для нецільових організмів. Результати досліджень лабораторного досліду з оцінювання впливу азоксистробіну на біологічну активність супіщаного бурозему північного сходу Польщі свідчать про суттєві зміни мікробного біорізноманіття, пригнічення чисельності органотрофних бактерій, актиноміцетів та грибів [35]. Ґрунт обробляли різними дозами фунгіциду з діючою речовиною азоксистробін та інкубували при 25°C протягом 30, 60 та 90 днів. За обробки рекомендованою дозою чисельність органотрофних бактерій і актиноміцетів була нижчою ніж в контрольному ґрунті на 60-й і 90-й день, а грибів — на 30, 60 і 90-й день. У нашому досліді найбільший негативний ефект від рекомендованої дози азоксистробіну зафіксовано на 20 добу, після чого чисельність мікроорганізмів поступово відновлювалась, але й на 110 добу чисельність мікроорганізмів усіх досліджуваних груп була достовірно меншою, ніж у контрольному ґрунті. Інші дослідження дії стробілуринових фунгіцидів [36] показали, що застосування азоксистробіну та крезоксим-метилу у тепличних умовах шляхом просочення у ґрунт інгібує активність арбускулярної мікоризи кукурудзи з *Glomus coronatum*, а використання азоксистробіну обприскуванням по листях може значно зменшити загальну популяцію філопланових дріжджів [37]. Оцінка впливу азоксистробіну на нецільові ґрунтові гриби показала, що за певних умов він може зменшити чисельність і різноманітність мікроміцетів ґрунту за використання в рекомендованій нормі навіть після 21 дня після застосування (до 84 днів) [38]. Також є дані [39] про те, що використання азоксистробіну призводить до змін у загальній структурі угруповань грибів у лабораторних зразках ґрунту, інкубованих впродовж 3 місяців. У лабораторних серійних експериментах з ґрунтом північного сходу Китаю доведено, що застосування азоксистробіну змінило структуру мікробних ценозів і знизило біорізноманіття та ферментативну активність ґрунту [40].

Здобуті нами результати показали, що з часом чисельність мікроорганізмів у ґрунтовій масі чорнозему опідзоленого важкосуглинкового після одноразової обробки її поверхні досліджуваними фунгіцидами тією чи іншою мірою відновилася. Але, як свідчать дані вищенаведеної наукової літератури, в різних ґрунтах наслідки застосування фунгіцидів і швидкість відновлення мікрофлори можуть бути різними. Деякі розбіжності у результатах можуть пояснюватись відмінностями властивостей ґрунту, таких як вміст органічної речовини, рН, рівень зволоженості та ін. До того ж, щорічне систематичне пестицидне навантаження на ґрунти може призвести до накопичення у них залишків фунгіцидів і продуктів їх розкладу та посилення негативного впливу цих речовин на ґрунтову мікробіоту.

Результатами нашого дослідження також виявлено, що у разі використання фунгіцидів біологічного походження так само відбуваються порушення чисельності мікрофлори. Біологічні фунгіциди меншою мірою знижували чисельність нецільових ґрунтових грибів. За даними останнього строку спостережень чисельність більшості досліджуваних груп у пробах ґрунту, обробленого Тріходерміном і Хетоміком була вищою, ніж у пробах ґрунту, обробленого хімічними фунгіцидами, і контрольного ґрунту. З урахуванням того, що попередні дослідження з вивчення ефективності фунгіцидів у вегетаційному досліді показали високу ефективність біофунгіцидів проти збудників кореневих гнилей ячменю [41], у виробничих умовах доцільно чергувати застосування хімічних фунгіцидів з біопрепаратами фунгіцидної дії.

Крім негативного впливу на нецільові ґрунтові організми, застосування синтетичних фунгіцидів також з часом призводить до збільшення стійкості патогенів до діючих речовин фунгіцидів, тому альтернативні методи боротьби зі збудниками хвороб сільськогосподарських рослин необхідно включити в програми управління фітосанітарним станом ґрунтів. Дослідженнями вчених з Коста-Ріки і США [42] показано, що можна замінити 25 % традиційних хімічних фунгіцидів, які використовуються в програмах боротьби зі збудниками хвороб банану в Коста-Ріці, біологічними пестицидами, зберігаючи аналогічний контроль фітопатогенів.

Висновки з нашого експерименту та досліджень інших вчених акцентують увагу на необхідності суворо дозованого, раціонального застосування хімічних фунгіцидів, контролю кількості засобів захисту рослин і кратності обробок з метою зменшення

несприятливого їх впливу на біологічні властивості ґрунту і шкідливої дії на довкілля. Спостереження за змінами стану мікробних угруповань ґрунту, їх структури і функціонування, швидкістю відновлення біологічної активності ґрунтів за застосування сучасних фунгіцидів дозволить прогнозувати потенційні екологічні ризики для ґрунтів і довкілля та своєчасно вживати заходи для запобігання їх забруднення.

5. Висновки

За результатами проведених нами досліджень виявлено ознаки тимчасового пригнічення мікробного ценозу ґрунту після одноразової обробки фунгіцидами. Динаміка чисельності мікрофлори в обробленій ґрунтовій масі впродовж періоду спостережень була такою: спочатку, на п'яту добу після обробки її поверхні рекомендованими дозами фунгіцидів, чисельність бактерій основних еколого-функціональних груп та мікроміцетів зростала, крім чисельності бактерій, що засвоюють мінеральні форми азоту, яка зменшувалася за дії всіх застосованих фунгіцидів. Згодом спостерігався відгук мікробного ценозу на хімічне навантаження, який проявився у зниженні чисельності мікроорганізмів усіх досліджуваних груп відносно необробленого контролю. Через двадцять діб після внесення фунгіцидів у ґрунт показники чисельності бактерій та мікроміцетів були на 15–46 % нижчими порівняно з контролем. На сорокову добу чисельність мікроорганізмів більшості досліджуваних нами груп у пробах ґрунту, обробленого хімічними фунгіцидами, майже досягла її рівня у контрольному ґрунті, а чисельність окремих груп була ще вищою, тоді як у ґрунті, обробленому біологічними фунгіцидами, у середньому чисельність мікрофлори залишалася на 15–23 % нижчою. Згідно зі значеннями СБП на сорокову добу чисельність мікрофлори у ґрунті, обробленому карбендазімом, відновилася на 98 %, азоксистробіном — на 93 %, тебуконазолом — на 112 % (перевищила чисельність у контрольному ґрунті), біологічних фунгіцидів — на 85 і 77 %. Але у разі застосування хімічних фунгіцидів відновлення виявилось нестабільним, у більш довготривалій перспективі (на сто десяту добу після обробки) чисельність мікрофлори в обробленому хімічними фунгіцидами ґрунті знову виявилася нижчою порівняно з контрольним ґрунтом у середньому на 10–21 %. За використання біологічних фунгіцидів на сто десяту добу нижчою були лише чисельність органотрофних бактерій (на 9–10 %) і грибів (на 2–19 %), чисельність мікроорганізмів інших груп була достовірно вищою, ніж у контрольному ґрунті, значення СБП для ґрунту, обробленого Триходерміном становили 102 % і Хетоміком — 104 %. Таким чином, швидкість і повнота відновлення були різними залежно від діючої речовини фунгіциду.

Особливо чутливими до дії фунгіцидів виявились оліготрофи і ґрунтові мікроміцети. Ступінь негативного впливу на нецільові гриби хімічних препаратів є помітно більшим, ніж біологічних. Їх чисельність відновлювалася до значень контролю швидше за застосування біологічного фунгіциду Хетоміка.

Використані нами мікробіологічні показники є чутливими біологічними індикаторами, дослідження впливу фунгіцидів на мікробні угруповання з їх використанням надають важливу інформацію про долю пестицидів у ґрунті та їхню токсичність для ґрунтових організмів

Список використаних джерел

1. Aktar W., Sengupta D., Chowdhury A. Impact of Pesticides use in agriculture their benefits and hazards. *Interdisciplinary toxicology*, 2009. № 2. P. 1-12.
2. Вожегова Р.А., Заєць С.О., Фундират К.С. Онуфран Л. І., Юзюк С. М. Ефективність біологічних і хімічних фунгіцидів у боротьбі зі збудниками грибних хвороб на посівах ячменю озимого в умовах зрошення. *Вісник аграрної науки*, 2021. № 11. С. 67-74. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202111-09>
3. Muyaier T., Huada D. R., Wang L. Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *Environmental Research and Public Health*, 2021. № 3. P. 1112. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
4. Al-Ani M., Hmash R., Kanaan I., Thanoon A. Effect of pesticides on soil microorganisms. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019. № 1. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1294/7/072007>
5. Бублик Л. І., Крук І. В. Методи моніторингу забруднення пестицидами ґрунту агроєкоценозів. *Захист і карантин рослин*, 2008. № 54. С. 87-99.
6. Andrea M. M., Peres B. B., Luchini L. C., Pettinelli A. J. Impact of long-term pesticide application on some soil biological parameters. *Journal of Environmental Science and Health*, 2000. № 35. P. 297-307. <https://doi.org/10.1080/03601230009373271>
7. Kalia A., Gosal S.K. Effect of pesticide application on soil microorganisms. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2011, № 35. P. 669-596. <https://doi.org/10.1080/03650341003787582>
8. Baxter J. The degradation of the herbicide bromoxynil and its impact on bacterial diversity in a top soil. *Journal of applied microbiology*, 2008. № 4. P. 1605-1616. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03709.x>

9. Niewiadomska A. Effect of carbendazim, imazetapir and thiram on nitrogenase activity, the number of microorganisms in soil and yield of red clover (*Trifolium pretense* L.). *Polish Journal of Environmental Studies*. 2004. № 13. P. 403-410.
10. Мишустин Е. Н., Емцев В. Т. *Микробиология*. Москва: Высшая школа, 1978, С. 350.
11. Bridge P., Spooner B. Soil fungi: diversity and detection. *Plant and Soil*. 2001. № 232. P. 147-154
12. Dighton J. *Fungi in ecology processes*. New York: Marcel Dekker, 2003. P. 443.
13. Frac M., Hannula S. E., Belka M., Jedryczka M. Fungal biodiversity and their role in soil health. *Frontiers in microbiology*. 2018. № 9. P. 56-65.
14. Sun X., Zhu L., Wang J., Wang J., Su B., Du Z., Guo P. Effects of endosulfan on the populations of cultivable microorganisms and the diversity of bacterial community structure in brunisolic soil. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2017. 228(4). P. 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3357-x>
15. Бояндин А. Н., Прудникова С. В., Филипенко М. Л., Храпов Е. А., Васильев А. Д., Волова Т. Г. Биодegradация полигидроксиалканоев почвенными микробиоценозами различной структуры и выявление микроорганизмов-деструкторов. *Прикладная биохимия и микробиология*. 2012. 48(1). С. 35-44.
16. Ingram C. W., Coyne M., Williams D. W. Effects of commercial diazinon and imidacloprid on microbial urease activity in soil. *Journal of Environmental Quality*. 2005. № 5. P. 1573-1580. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.0433>
17. Littlefield-Wyer J. G., Brooks P., Katouli M. Application of biochemical fingerprinting and fatty acid methyl ester profiling to assess the effect of the pesticide Atradox on aquatic microbial community. *Environmental Pollution*. 2008. № 13. P. 393-400. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.08.016>
18. Vazquez-Blanco R., Arias-Estevéz M., Baath E., Fernandez-Calvino D. Comparison of Cu salts and commercial Cu based fungicides on toxicity towards microorganisms in soil. *Environmental Pollution*, 2020, № 257. 113585. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113585>
19. Sardar D. K., Kole R. K. Metabolism of chlorpyrifos in relation to its effect on the availability of some plant nutrients in soil. *Chemosphere*. 2005. № 9. P. 1273-1280. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.03.078>
20. Bacmaga M. W., Wyszowska J., Kucharski J. Response of soil microorganisms and enzymes to the foliar application of Helicur 250 EW fungicide on *Hordeum vulgare*. *Chemosphere*. 2020. № 242. P. 125-163. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125163>
21. Wang C., Wang F., Zhang Q., Liang W. Individual and combined effects of tebuconazole and carbendazim on soil microbial activity. *European Journal of Soil Biology*. 2016. № 72. P. 6-13.
22. Якість ґрунту. Визначення чисельності мікроорганізмів у ґрунті методом висівання на тверде (агаризоване) живильне середовище: ДСТУ 7847:2015 (Національний стандарт України) [Чинний від 01.07.2016].
23. Аристовская Т. В., Худякова Ю. А.. Методы изучения микрофлоры почв и ее жизнедеятельности. *Методы стационарного изучения почв*. Москва: Наука, 1977, С. 141-286.
24. Мишустин Е. Н. *Ассоциации почвенных микроорганизмов*. Москва: Наука, 1975, С. 24.
25. Муха В. Д. О показателях, отражающих интенсивность и направленность почвенных процессов. *Сб. науч. тр. ХСХИ*, 1980, № 273. С. 13-16.
26. Naydyonova O. E., Baliuk S.A. Biological degradation of Chernozems under irrigation. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2014. 3(4). P. 267-273. <https://doi.org/10.18393/jejs.87170>
27. Singh S., Singh N., Kumar V., Datta S. Toxicity, monitoring and biodegradation of the fungicide carbendazim. *Environmental Chemistry Letters*. 2016. № 14. P. 317-329. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0566-2>
28. Wang X., Song M., Gao C., Dong B., Zhang Q., Fang H., Yu Y. Carbendazim induces a temporary change in soil bacterial community structure. *Journal of Environmental Sciences*. 2009. 21(12). P. 1679-1683. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62473-0](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62473-0)
29. Wang Y. S., Huang Y. J., Chen W. C., Yen J. H. Effect of carbendazim and penicillur on soil bacterial community. *Journal of Hazardous Materials*. 2009. 172(1). P. 84-91. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.142>
30. Yan H., Wang D., Dong B., Tang F., Wang B., Fang H., Yu Y. Dissipation of carbendazim and chloramphenicol alone and in combination and their effects on soil fungal: bacterial ratios and soil enzyme activities. *Chemosphere*. 2011. 84(5). P. 634-641. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.03.038>
31. Guilong Ma, Xinxin Gao, Jie Nan, Tingting Zhang, Xiaobao Xie, Qi Cai. Fungicides alter the distribution and diversity of bacterial and fungal communities in ginseng fields. *Bioengineered*. 2021. 1(12). P. 8043-8056. <https://doi.org/10.1080/21655979.2021.1982277>
32. Kūçük C., Yeşilorman D., Cevheri C. Effect of some fungicides on soil biological activities in laboratory conditions. *Adıyaman University Journal of Science*. 2016. 6(2), P. 187-201.
33. Roman D. L., Voiculescu D. I., Filip M., Ostafe V., Isvoran A. Effects of Triazole Fungicides on Soil Microbiota and on the Activities of Enzymes Found in Soil: A Review. *Agriculture*. 2021. № 9. P. 893-911. <https://doi.org/10.3390/agriculture11>
34. Muñoz-Leoz B., Ruiz-Romera E., Antigüedad I., Garbisu C. Tebuconazole application decreases soil microbial biomass and activity. *Soil Biology and Biochemistry*. 2011. 10(43). P. 2176-2183. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.07.001>
35. Bacmaga M., Kucharski J., Wyszowska J. Microbial and enzymatic activity of soil contaminated with azoxystrobin. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015. № 10. P. 615-629. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4827-5>
36. Diedhiou P. M., Oerke E. C., Dehne H. W. Effects of the strobilurin fungicides azoxystrobin and kresoxim-methyl on arbuscular mycorrhiza. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2004. 111(6). P. 545-556. <https://www.jstor.org/stable/43215611>
37. Buck J. W., Burpee L. L. The effects of fungicides on the phylloplane yeast populations of creeping bentgrass. *Canadian Journal of Microbiology*. 2002. 6(48). P. 522-529.
38. Adetutu E. M., Ball A. S., Osborn A. M. Azoxystrobin and soil interactions: degradation and impact on soil bacterial and fungal communities. *Journal of Applied Microbiology*. 2008. № 105. P. 1777-1790. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03948.x>
39. Bertelsen J. R., De Neergaard E., Smedegaard-Petersen V. Fungicidal effects of azoxystrobin and epoxiconazole on phyllosphere fungi, senescence and yield of winter wheat. *Plant Pathology*. 2001. № 50. P. 190-205.

40. Wang X., Lu Z., Miller H., Liu J., Hou Z., Liang S., Zhao X., Zhang H., Borch T. Fungicide azoxystrobin induced changes on the soil microbiome. *Applied Soil Ecology*, 2020. Vol. 145. 103343. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.08.005>

41. Гетьман Я. В., Найдьонова О. Є. Динаміка чисельності мікроміцетів у чорноземі опідзоленому за застосування різних фунгіцидів. *Біологічні процеси оптимізації продукційного процесу культурних рослин: матеріали Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції, присвяченої 60-річчю ІСМАВ НААН (м. Чернігів, 26–27 жовтня 2021 р.)* Національна академія аграрних наук України, Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва, Товариство мікробіологів України ім. С. М. Виноградського. Чернігів: видавець Брагинець О. В., 2021. С. 57–59. https://ismav.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8-2021_%D0%905.pdf

42. Becker P., Esker P., Umaña G. Incorporation of microorganisms to reduce chemical fungicide usage in black sigatoka control programs in Costa Rica by use of biological fungicides. *Crop Protection*. 2021. Vol. 146. 105657. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105657>

UDC 631.427.22

Dynamics of the microorganisms' number in the soil mass of podzolized chernozem after treatment with fungicides of various origins

Y. V. Hetman*, O. E. Naidonova

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine

*E-mail: soils.myecology@gmail.com

In a laboratory model experiment, the dynamics of the number of bacteria and micromycetes in the soil mass of podzolized chernozem after a one-time treatment of its surface with fungicides of various origins investigated. Chemical fungicides based on the active substances *carbendazim*, *tebuconazole* and *azoxystrobin*, and biological fungicides based on the antagonistic fungi *Trichoderma viride* (*lignorum*) and *Chaetomium cochliodes* were used. The soil mass for the experiment was taken from the arable layer of the soil on the site without fertilizers in the field experiment of the Department of Agrochemistry NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky" (NSC "ISSAR") on the territory of SE "EF Hrakivske" (Noviy Korotych village, Kharkiv district, Kharkiv region). During 110 days of composting at a constant temperature, changes in the state of microbial communities, in particular soil micromycetes, and the speed and completeness of their recovery compared to soil not treated with fungicides evaluated. The state of the microflora was monitored four times during the study period according to the parameters of the number of microorganisms belonging to various ecological-trophic and taxonomic groups, the total biological index (TBI) and indicators reflecting the functional state of microbial coenoses (oligotrophy and mineralization indices, the coefficient of microbial transformation of soil organic matter (MTSOM)). On the fifth day after treatment with fungicides, the number of bacteria and micromycetes in the samples of the treated soil mass was slightly higher than in the control samples, and on the twentieth day, on the contrary, it was significantly lower. The number of bacteria was lower by 20-46 %, micromycetes by 16-34 % compared to the control. On the fortieth day, a partial restoration of the number of bacteria to the level of the untreated control soil observed, and the number of micromycetes remained lower by 9-36 % compared to the control in the case of chemical fungicides. When using biological fungicides, the number of micromycetes approached the values in control soil and accounted for 84-94 % of them. On the one hundred and tenth day, the number of microflora in the soil treated with chemical fungicides according to TBI was 79-89 % of the control values, and in the soil treated with biofungicides it was 102-104 %. The number of micromycetes decreased to a lesser extent and recovered most completely and quickly in the case of the application of the biological fungicide Hetomic. Given the important role of soil micromycetes in the functioning of soils, a decrease in their number due to the accumulation of residual amounts of chemical fungicides in the soil can have a negative impact on many soil-biological processes, in particular the decomposition of plant residues and further transformation of organic matter, as well as on the phytosanitary state of the soil. Therefore, in order to avoid the possible consequences of their excessive or repeated application and the associated threat of soil contamination, it is necessary to carry out microbiological monitoring of soils in areas with a high fungicide load.

Keywords: soil; fungicides; soil micromycetes; microbial communities; functional state of soil microbial coenosis

Citing: Hetman Y. V., Naidonov O. E. (2023). Dynamics of the microorganisms' number in the soil mass of podzolized chernozem after treatment with fungicides of various origins. *AgroChemistry and Soil Science*, 95, 47-59. [doi:10.31073/acss95-05](https://doi.org/10.31073/acss95-05) [in Ukrainian].