

ІНТЕНСИВНІСТЬ СПОРУЛЯЦІЇ ФІТОПАТОГЕННИХ МІКРОМІЦЕТІВ НА НАСІННІ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ЯК ІНДИКАТОР ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ В АГРОЦЕНОЗАХ

А.М. Ліщук, А.І. Парфенюк, Н.В. Карачинська

Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: lishchuk.alla.n@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8339-9365

e-mail: vereskpar@ukr.net; ORCID: 0000-0003-0169-4262

e-mail: karachinskan051177@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6571-8430

Проаналізовано вплив біологічного забруднення, спричиненого інтенсивністю споруючої фітопатогенних мікроміцетів на насінні зернових культур ячменю ярого і вівса, на формування екологічних ризиків в агроценозах. Метою цього дослідження є оцінка рівня екологічного ризику в агроценозах зернових культур та обґрунтування підходів до їх мінімізації. Виявлено, що сортові особливості культур відіграють ключову роль не лише у формуванні фітопатогенного мікобіому насіння, а й потенційного екологічного ризику. За результатами досліджень визначено чітку лінійну статистичну залежність між інтенсивністю споруючої фітопатогенних мікроміцетів (виміряною в млн шт./мл конідій) та рівнем екологічного ризику (оціненим у балах) для обох досліджуваних культур. Це дає можливість використовувати показник інтенсивності споруючої як надійний кількісний індикатор екологічної безпеки агроценозів. Встановлено, що сорти ячменю ярого (Салют і Богун) та вівса (Світанок, Парламентський і Тембр) характеризуються значним або високим рівнем екологічного ризику через інтенсивну споруючість. Ідентифіковано наявність небезпечних видів *Fusarium* (зокрема *F. culmorum*, *F. sporotrichioides*, *F. gramineum*), здатних продукувати мікотоксини, що підкреслює потенційну загрозу формування екологічних ризиків в агроценозі. Отримані дані мають істотно практичне значення для розробки та оптимізації стратегій управління фітосанітарним станом посівів. Зокрема, вони підкреслюють необхідність врахування сортової специфіки насіннєвого матеріалу, контамінації насіння фітопатогенними мікроорганізмами, а також впровадження ефективних сівозмін для попередження розвитку епіфітотій. Ці підходи є важливими для зменшення залежності агрофітоценозів від хімічних засобів захисту рослин, для мінімізації екологічних ризиків та забезпечення сталого розвитку сільського господарства.

Ключові слова: біотичні чинники, фітопатогенні мікроорганізми, інфекційні структури, сортові особливості, фітосанітарний стан, зернові культури, біологічне забруднення агроценозів, екологічна безпека.

ВСТУП

Зростаючі екологічні ризики в сучасному сільському господарстві обумовлюють порушення стійкості агроєкосистем. Вони мають комплексний характер, оскільки зумовлені одночасним впливом абіотичних [1; 2], біотичних [3–5] та антропогенних [6–8] чинників. Особливої уваги потребують біотичні чинники, зокрема фітопатогенні мікроорганізми, що формують складне біологічне середовище в агроценозах [9–11]. Їхня дія спричиняє порушення трофічних зв'язків, зміщення балансу між культурами та фітопатогенним мікробіо-

мом, що, як наслідок, підвищує рівень екологічних ризиків.

В умовах зміни клімату та посиленого антропогенного навантаження вплив біотичних чинників стає менш прогнозованим. Це створює додаткове фізіологічне навантаження на культурні рослини та ускладнює регуляцію екологічних ризиків. Порушення фітосанітарної стабільності, спричинено біологічним забрудненням агроценозу, часто є наслідком зниження врожайності та погіршення якості продукції, а зростання чисельності популяцій фітопатогенних мікроорганізмів поглиблює екологічні ризики, зумовлені зміною

екологічної рівноваги та зниженням продуктивності агроценозів.

Мета роботи — оцінити рівень екологічної небезпеки в агроценозах за взаємодії рослин ячменю ярого й вівса з фітопатогенними мікроміцетами та обґрунтувати підходи до мінімізації екологічних ризиків в агроценозах України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Аналіз вітчизняного та міжнародного досвіду свідчить про зростання загроз, пов'язаних із поширенням фітопатогенних мікроорганізмів і шкідників, а також змінами їхніх ареалів і щільності популяцій [4; 12–17]. Це обумовлює нагальну необхідність систематизації сучасних наукових підходів до оцінювання екологічних ризиків, спричинених біотичними чинниками, зокрема фітопатогенними мікроорганізмами, в умовах інтенсивного антропогенного навантаження на агроценози. Незважаючи на численні дослідження щодо сучасного стану агроєкосистем, питання оцінювання потенційних екологічних ризиків, зумовлених зниженням конкурентної спроможності культур у стресових умовах та зміною структури агроценозів, залишаються недостатньо вивченими.

Виникнення екологічної небезпеки в агроценозах за несприятливого впливу екологічних чинників досліджували зарубіжні вчені, зокрема T. Dresselhaus та R. Hückelhoven [18], S. Biswas та R. Das [19], R. Bommarco [20] та ін. Вони встановили, що за таких обставин відбувається погіршення фітосанітарного стану посівів, втрата продуктивності та якості врожаю. Екологічні ризики пов'язані з біологічними характеристиками культурних рослин і особливостями їх культивування. Тому створення наукового забезпечення для регуляції фітопатогенного фону в агроєкосистемах, за впливу низки екологічних чинників, є актуальним.

Значну екологічну роль фітопатогенних мікроорганізмів у формуванні екологічних ризиків унаслідок погіршення фітосанітарного стану агрофітоценозів відмітили

українські дослідники, зокрема Г.О. Балан та Б.Н. Мілкус [21], Г.М. Ковалишина зі співавт. [22], В.П. Петренко з колегами [23], Д. Нікітін та ін. [24]. Автори запевняють, що основний екологічний ризик проявляється під час динамічного розвитку епіфітотійних хвороб, які спричиняють ґрунтові, насінневі та листкостеблові екологічні групи фітопатогенних мікроорганізмів.

Наприклад, Д. Нікітін із співавт. [24] стверджує, що біогеоценоз постає фактором передачі й нішею для накопичення ґрунтових інфекцій, які завдають шкоди агрофітоценозам основних польових культур. Головну роль у циклі розвитку і поширення фітоінфекцій цієї екологічної групи, на думку Г.О. Балан та Б.Н. Мілкус [21], відіграють ґрунт, насіння, рослинні рештки культур та бур'янів, які є основним депо накопичення інфекційних структур. Активний розвиток цих структур призводить до зріджування посівів та втрати продуктивності. Нагромадженню та поширенню ґрунтових інфекцій в агрофітоценозах сприяє знижена супресивність ґрунту через збіднення корисної ґрунтової мікробіоти.

Формування екологічної небезпеки, спричинених збудниками групи насінневих інфекцій, пов'язано з надходженням їх до агроценозів із посівним матеріалом. Як свідчать T. Dresselhaus та R. Hückelhoven [18], унікальність виникнення екологічних ризиків через поширення насінневих інфекцій обумовлена біологічними особливостями насіння культур, здатністю збудників хвороб акумулюватись у насінні та рослинних рештках. Масове інфікування фітопатогенними грибами відбувається за наявності достатньо агресивного та вірулентного інфекційного матеріалу. Відомо, що з підвищенням інфекційного навантаження на одиницю площі, збільшується інтенсивність розвитку хвороб рослин [11; 15].

Сортові особливості культури відіграють ключову роль у формуванні екологічних ризиків в агроценозах. J. Lenné та D. Wood підтверджують, що культури та їх сорти мають неоднакові вимоги до екологічних умов розвитку, що обумовлюють їхню вро-

жайність, якість та стійкість до чинників навколишнього середовища [25]. Вирощування рослин сортів і гібридів, стійких до несприятливих умов, є шляхом уникнення екологічних загроз за вирощування культур. Однак сортові особливості є однією з причин виникнення екологічного ризику в агроценозі [26]. Висока стійкість сортів до інфекційних мікроміцетів здатні спричиняти відбір та накопичення агресивних форм збудників хвороб, тоді як сприйнятливі рослини можуть зумовлювати інтенсивний розвиток популяцій інфекційних структур [2]. Різноманітність та кількість фітопатогенних мікроміцетів, а також інтенсивність їхньої споруляції, значною мірою обумовлені сортом рослини [4]. Це пояснюється різним ступенем стійкості та сприйнятливості сортів до певних видів мікроміцетів та умов їхнього розвитку.

Відомо, що екзометаболіти рослин різних сортів сої можуть сприяти розвитку непатогенного мікробіому або активувати зростання фітопатогенних мікроорганізмів [5]. Спостерігається зниження інтенсивності споруляції грибів роду *Fusarium* на екзометаболітах сортів сої [27]. Це дає підстави припускати, що використання певних сортових особливостей культур може стримувати виникнення епіфітотії через накопичення фітопатогенних мікроміцетів, що призведе до зниження екологічного ризику.

Сорт рослин також діє на низку господарських ознак культури та різні аспекти росту чи розвитку рослин, включаючи їх взаємодію зі шкідниками та фітопатогенними мікроорганізмами [2]. Тому, сортові особливості культури впливають на чисельність популяцій фітопатогенних мікроорганізмів, на поширення та накопичення інфекційних структур в агрофітоценозах. Екзофітний та ендоефітний мікробіомом формується під дією фізіолого-біохімічних властивостей сорту рослин, які можуть пригнічувати розвиток популяцій фітопатогенних грибів та забезпечувати стійкість екологічних зв'язків [18; 27]. Окрім того, культурні рослини можуть стимулювати споруляцію фітопатогенних мікро-

міцетів упродовж вегетації, що спричиняє збільшення чисельності популяцій вірулентних рас грибів та інтенсивне зараження ними рослин. Це, своєю чергою, спонукає формування екологічного ризику в агроценозах через зростання потреби в інтенсивному хімічному захисті [18; 28].

Екологічні ризики, зумовлені фітопатогенним фоном в агрофітоценозі, залежать від спектра і кількості фітопатогенних грибів і від фізіолого-біохімічних властивостей сорту культурних рослин. Рівень екологічних загроз перевіряється показниками стійкості сорту до певних видів грибів та умовами для їхнього росту й розвитку [2]. Крім того, сорт культури контролює видовий склад фітопатогенних мікроміцетів та утворення фітопатогенного фону в агрофітоценозі [28].

Незважаючи на численні дослідження агроєкосистем, недостатньо вивченими залишаються питання оцінювання екологічних потенційних ризиків, зумовлених стресовими біотичними чинниками, контамінацією насіння та погіршенням фітосанітарного стану агроценозу, що призводить до порушення його екологічної рівноваги.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження базується на основі порівняльного аналізу вітчизняного та зарубіжного наукового досвіду щодо впливу біотичних чинників на формування екологічних ризиків в агроценозах. Об'єктом дослідження були зразки насіння різних сортів зернових культур, зокрема ячменю ярого (сорт Азарт, Мирний, Шарм, Салют, Богун) та вівса (сорт Нептун, Скарб України, Світанок, Парламентський, Тембр). Предметом цього дослідження є інтенсивність споруляції фітопатогенних мікроміцетів та їхній видовий склад на насінні зазначених сортів зернових культур, а також рівень екологічного ризику в агроценозах, викликаний цими біотичними чинниками.

Оцінку рівня екологічної небезпеки проводили за авторською градаційною шкалою, розробленою на основі методик [15; 21; 30; 31]. Ця шкала враховує ступінь

порушення екологічної рівноваги, фітосанітарне навантаження та адаптивну реакцію культурних рослин, дає можливість кількісно оцінити рівень екологічного ризику в балах. Вона застосовується для оцінювання ризиків, зумовлених інтенсивністю споруючої мікроміцетів у мікобіомі насіння сортів культур (представлено в розділі «Результати та їх обговорення»). Для оцінювання використано результати мікологічного аналізу насіння, що включає ідентифікацію та кількісний підрахунок (млн шт./мл конідій) фітопатогенних мікроміцетів, присутніх на насінні матеріалі зернових культур. А саме: за застосування показників інтенсивності споруючої фітопатогенних мікроміцетів на насінні ячменю ярого та вівса, отриманих в умовах органічного землеробства за результатами наукових досліджень, наведених у роботі колективу авторів [29].

Статистичну обробку даних здійснювали за врахування аналізу взаємозв'язку між інтенсивністю споруючої фітопатогенних мікроміцетів та рівнем екологічного ризику. Для візуалізації та кількісного вираження взаємозв'язку використовували метод лінійної регресії, що допомогло встановити лінійну статистичну залежність між інтенсивністю споруючої та рівнем екологічного ризику, а також визначити коефіцієнти детермінації (R^2).

Експериментальні дані оброблено методами математичної статистики, зокрема дисперсійним аналізом, а достовірність результатів оцінено за допомогою програми Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Шкала оцінювання рівня екологічних ризиків за інтенсивністю споруючої мікроміцетів на насінні сортів культур. За аналізом джерел наукової літератури [9; 30; 32; 33] виявлено, що зміни сортового складу, пов'язані з екологічними особливостями сортів та гібридів, можуть зумовлювати виникнення екологічних ризиків в агроценозах. Це відбувається внаслідок формування агресивних рас у популяціях збудника та

динаміки поширення хвороби. Інтенсивному посиленому розвитку хвороби в агроценозах сприяють запаси інфекційних структур у ґрунті, на рослинних рештках та насінні. Такі процеси можуть призводити до епіфітотій, збільшувати біологічне забруднення агроценозів і, як наслідок, формувати в них екологічні ризики.

Для оцінювання екологічної небезпеки накопичення конідій на органах рослин використовують шкалу інтенсивності споруючої фітопатогенів [9; 28; 30; 32; 33]. Така шкала відображає мінімальний ризик за концентрації конідій факультативних грибів-паразитів та градується у межах $0,1 \div 1,0$ млн од. в 1 мл. На нашу думку, інтенсивність споруючої є індикатором екологічного ризику. Тому, на основі зазначеної шкали, розроблено градаційну шкалу оцінювання екологічних ризиків в агроценозах, зумовлених збудниками хвороб. Така шкала допомагає оцінювати рівень екологічного ризику в агроценозах залежно від інтенсивності споруючої конідій фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів культур (табл. 1). Адже насіння є основним джерелом насінневих фітопатогенних інфекцій [21].

Таблиця 1. Градаційна шкала оцінювання екологічних ризиків за критерієм інтенсивності споруючої конідій фітопатогенних мікроміцетів

Концентрація конідій, млн од. в 1 мл	Рівень екологічного ризику, бал
<0,1	1 (мінімальний)
0,11–1,00	2 (незначний)
1,11–2,00	3 (підвищений)
2,11–4,00	4 (значний)
4,11–≥6,00	5 (високий)

Примітка: градацію розроблено авторами на основі [9; 30; 32].

Шкалу варто застосовувати для оцінювання потенційних екологічних ризиків від поширення фітопатогенних збудників хвороб, які залежать від особливостей екологічних груп сортів культур.

За розробленою шкалою проведено оцінку екологічних ризиків за критерієм інтенсивності споруляції мікроміцетів на насінні сортів зернових культур сортів ячменю ярого та вівса. За вихідні дані використано показники інтенсивності споруляції фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів ячменю ярого колективу авторів [29], отримані під час дослідження впливу сортових особливостей культури на формування стійких агроценозів. Оцінюванню підлягали насіння ячменю ярого (сорти Азарт, Богун, Мирний, Салют, Шарм) та насіння вівса (сорт Нептун, Світанок, Парламентський, Тембр, Скарб України), яке було контаміноване фітопатогенами різних екологічних груп. Їх видовий склад представлено родами: *Alternaria*, *Bipolaris*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Glicocladium*, *Nigrospora*. Однак за даними, наведеними у науковій публікації колективу дослідників [29], інтенсивність споруляції мікроміцетів сприяла розвитку мікозних хвороб рослин, тому постала необхідність оцінки екологічного ризику в агроценозах цих культур.

Аналіз рівня екологічного ризику за інтенсивністю споруляції фітопатогенів на насінні сортів ячменю ярого. За проведеним аналізом рівня екологічних загроз, спричиненим інтенсивністю споруляції

фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів ячменю ярого, встановлено, що індикатором потенційного екологічного ризику є сортові особливості ячменю ярого, які впливають на видовий склад фітопатогенних мікроміцетів та середню кількість їхніх конідій (млн шт./мл). Так, даними щодо рівня екологічного ризику в агроценозі (табл. 2) підтверджено, що різні сорти ячменю ярого обумовлюють різний потенціал до його формування, відрізняючись як за видовим спектром контамінантних мікроміцетів, так і за інтенсивністю їхньої споруляції.

Зокрема, на сортах Шарм, Мирний та Азарт, де спостерігали найменшу кількість конідій — 1,2, 1,3 і 1,5 млн шт./мл відповідно, видовий склад мікроміцетів включав такі поширені фітопатогенні види, як *Alternaria alternata*, *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium gramineum*, *Epicoccum neglectum* та *Glicocladium roseum*. Встановлено, що перелічені мікроміцети спричиняють підвищений рівень (3 бали) екологічного ризику. Втім одержані показники вказують на потенційно нижчий екологічний ризик порівняно з іншими досліджуваними сортами. Це може свідчити про їхню відносну стійкість або меншу сприятливість для розвитку деяких фітопатогенів.

Таблиця 2. Рівень екологічного ризику в агроценозі за показниками інтенсивності споруляції фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів ячменю ярого

Сорт ячменю ярого	Види мікроміцетів	Кількість конідій, млн шт./мл (середнє за видами)	Рівень екологічного ризику, бал
Азарт	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Bipolaris sorokiniana</i> , <i>Fusarium oxysporum</i>	1,5	3 (підвищений)
Мирний	<i>Bipolaris sorokiniana</i> , <i>Fusarium gramineum</i> , <i>Glicocladium roseum</i>	1,3	3 (підвищений)
Шарм	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Epicoccum neglectum</i> , <i>Glicocladium roseum</i>	1,2	3 (підвищений)
Салют	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Bipolaris sorokiniana</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Nigrospora oryzae</i>	3,6	4 (значний)
Богун	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Bipolaris sorokiniana</i> , <i>Epicoccum neglectum</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Glicocladium roseum</i> , <i>Nigrospora oryzae</i>	4,2	5 (високий)

На противагу цьому, значно вища інтенсивність споруляції фітопатогенних мікроміцетів на сортах ячменю ярого Салют та Богун обумовлює формування більш високого рівня екологічного ризику. Зокрема, сорт ячменю ярого Салют характеризується значним рівнем (4 бали) екологічного ризику, що корелює з середньою кількістю конідій 3,6 млн шт./мл. Його мікобіом містить комплекс фітопатогенних мікроміцетів, до яких належать гриби: *Alternaria alternata*, *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium oxysporum* та *Nigrospora oryzae*. Листкостеблована екологічна група інфекцій, яка представлена альтернarioзом (*Alternaria*) та пліснявими фітопатогенними грибами виду *Nigrospora*, характеризується широкими екологічними нішами, тобто запасом ресурсів для розмноження за настання сприятливих погодних умов. Висока інтенсивність споруляції досліджуваних мікроміцетів свідчить про високу вірогідність розвитку хвороб рослин сортів ячменю (за сприятливих погодних умов) та про виникнення екологічного ризику.

Найвищий показник — високий рівень (5 балів) екологічної небезпеки зафіксовано на рослинах ячменю сорту Богун. Це пояснюється найвищою інтенсивністю споруляції (4,2 млн шт./мл) і широким спектром виявлених фітопатогенних грибів, до яких належать: *Alternaria alternata*, *Bipolaris sorokiniana*, *Epicoccum neglectum*, *Fusarium oxysporum*, *Glicocladium roseum* та *Nigrospora oryzae*. Висока інтенсивність споруляції перелічених мікроміцетів вказує на значний потенційний екологічний ризик, пов'язаний із поширенням хвороб у агроценозі за сприятливих умов.

Наявність збудників фузаріозної гнилі (грибів *Fusarium oxysporum*, *Fusarium gramineum*) та гельмінтоспоріозної (гриба *Bipolaris sorokiniana*), що належать до ґрунтово-повітряно-насінневої підгрупи інфекцій, посилює загрозу зростання рівня екологічного ризику.

Отримані результати підтверджують, що сортові особливості ячменю ярого обумовлюють формування мікобіому насіння та, як наслідок, визначають потенційний

рівень екологічного ризику в агроценозі. Сорти з меншою інтенсивністю споруляції (Шарм, Мирний, Азарт) несуть нижчий екологічний ризик, тоді як сорти Салют та, особливо, Богун, є більш вразливими до ураження фітопатогенними мікроміцетами, що зумовлює більш високий рівень екологічної небезпеки. Ці результати досліджень підкреслюють важливість вибору сорту, як елемента стратегії інтегрованого захисту рослин та управління екологічними ризиками в сучасному сільському господарстві.

За підсумками оцінювання побудовано модель лінійної статистичної залежності рівня екологічного ризику (бал) від інтенсивності споруляції (млн шт./мл) некротрофних мікроміцетів на насінні сортів ячменю ярого (рис. 1).

Як видно з діаграми, зі збільшенням кількості конідій спостерігається чітке зростання рівня екологічного ризику, що підтверджує пряму кореляцію між цими показниками. Лінійна регресійна залежність для кількості конідій свідчить про виражену позитивну залежність, що описується рівнянням $y=0,7945x$ з високим коефіцієнтом детермінації ($R^2=0,965$). Це вказує на те, що близько 96,5% варіабельності кількості конідій пояснюється інтенсивністю споруляції на насінні різних сортів ячменю ярого. Аналогічно, лінійна регресійна залежність фіксує стійке підвищення рівня екологічного ризику (в балах) зі збільшенням інтенсивності споруляції конідій. Рівняння цієї залежності ($y=1,0727x$) з коефіцієнтом детермінації $R^2=0,9307$, підтверджує, що понад 93% варіабельності рівня екологічного ризику безпосередньо обумовлено зміною сорту.

Тому, сорти ячменю ярого, за впливу інфекційного фону та інтенсивності споруляції фітопатогенних мікроміцетів на насінні, можуть спричиняти різний рівень екологічного ризику в агроценозі культури. Виявлена лінійна залежність пояснює, що інтенсивність споруляції фітопатогенних мікроміцетів є надійним кількісним індикатором для оцінки рівня потенційної

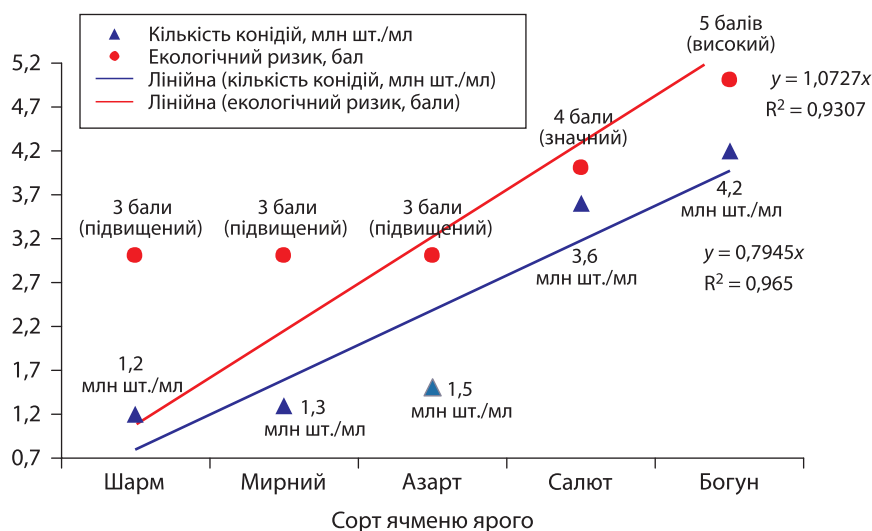


Рис. 1. Лінійна статистична залежність рівня екологічного ризику (бал) від інтенсивності споруючості (млн шт./мл) некротрофних мікроміцетів на насінні сортів ячменю ярого

екологічної небезпеки в агроценозах сортів ячменю ярого.

Біологічне забруднення агроценозів фітопатогенними інфекційними структурами, особливо швидко поширюваними та адаптивними грибами, може призвести до низки екологічних ризиків. Це включає розвиток хвороб, зниження продуктивності рослин та негативний вплив на біорізноманіття. З огляду на ці загрози, вкрай важливо розробляти та впроваджувати ефективні стратегії для контролю і запобігання такого роду забруднення та мінімізації формування екологічних ризиків в агроценозах.

Аналіз рівня екологічного ризику в агроценозі за інтенсивністю споруючості фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів вівса. За проведеним аналізом встановлено взаємозв'язок між інтенсивністю споруючості фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів вівса та рівнем екологічного ризику в агроценозі (табл. 3). Матеріали, представлені в табл. 3, свідчать, що рівень екологічного ризику в агроценозі сортів вівса корелює як з інтенсивністю споруючості, так і з видовим складом фітопатогенних мікроміцетів, який залежить від сорту. Зокрема, відомо, що до екологічної групи ґрунтових інфекцій належать три

види збудників роду *Fusarium*: *F. culmorum*, *F. sporotrichioides* і *F. graminearum*. Їх віднесено до цієї групи, оскільки вони є типовими сапротрофами, які зберігаються і поширюються в ґрунті на рослинних рештках. Такий механізм виживання та інфікування підтверджується численними дослідженнями. Наприклад, у роботі Н. Khalifi та ін. [34] детально описано, що види *Fusarium* є звичайними мешканцями ґрунту, де вони можуть існувати роками, утворюючи хламідоспори (спори з потовщеною оболонкою, стійкі до несприятливих умов). Ці гриби є небезпечними, адже вони здатні до утворення мікотоксинів, які становлять загрозу для здоров'я людини та тварин.

За аналізом сортових відмінностей встановлено, що сорти вівса Скарб України та Нептун обумовлюють підвищений рівень (3 бали) екологічного ризику. На насінні цих сортів середня кількість конідій становить 1,2 млн шт./мл та 1,3 млн шт./мл відповідно. Їхній мікобіом включає такі фітопатогенні мікроміцети як: *Alternaria tenuissima*, *Drechslera avenae*, *Fusarium sporotrichioides*, *Fusarium culmorum* та *Nigrospora oryzae*.

Сорти Тембр, Світанок та Парламентський характеризуються значно вищою ін-

Таблиця 3. Рівень екологічного ризику в агроценозі за показниками інтенсивності споруляції фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів вівса

Сорт вівса	Види мікроміцетів	Кількість конідій, млн шт./мл (середнє за видами)	Рівень екологічного ризику, бал
Нептун	<i>Alternaria tenuissima</i> , <i>Drechslera avenae</i> , <i>Fusarium sporotrichioides</i>	1,3	3 (підвищений)
Скарб України	<i>Alternaria tenuissima</i> , <i>Fusarium culmorum</i> , <i>Fusarium gramineum</i> , <i>Nigrospora oryzae</i>	1,2	3 (підвищений)
Світанок	<i>Drechslera avenae</i> , <i>Fusarium sporotrichioides</i> , <i>Nigrospora oryzae</i>	3,0	4 (значний)
Парламентський	<i>Alternaria tenuissima</i> , <i>Drechslera avenae</i> , <i>Fusarium sporotrichioides</i>	3,3	4 (значний)
Тембр	<i>Alternaria tenuissima</i> , <i>Drechslera avenae</i> , <i>Fusarium sporotrichioides</i> , <i>Nigrospora oryzae</i>	2,8	4 (значний)

тенсивністю споруляції, на їх насінні кількість конідій сягає 2,8, 3,0 і 3,3 млн шт./мл відповідно для сортів. Така інтенсивність споруляції обумовлює значний рівень (4 бали) екологічного ризику.

Отримані результати визначили, що інтенсивність споруляції фітопатогенних мікроміцетів є надійним кількісним індикатором для оцінки потенційної екологіч-

ної небезпеки в агроценозах сортів вівса, а сортові особливості культури є визначальними у формуванні цього ризику.

Побудовано модель лінійної статистичної залежності рівня екологічного ризику (бал) від інтенсивності споруляції (млн шт./мл) фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів вівса (рис. 2), яка фіксує високу пряму кореляційну залежність між

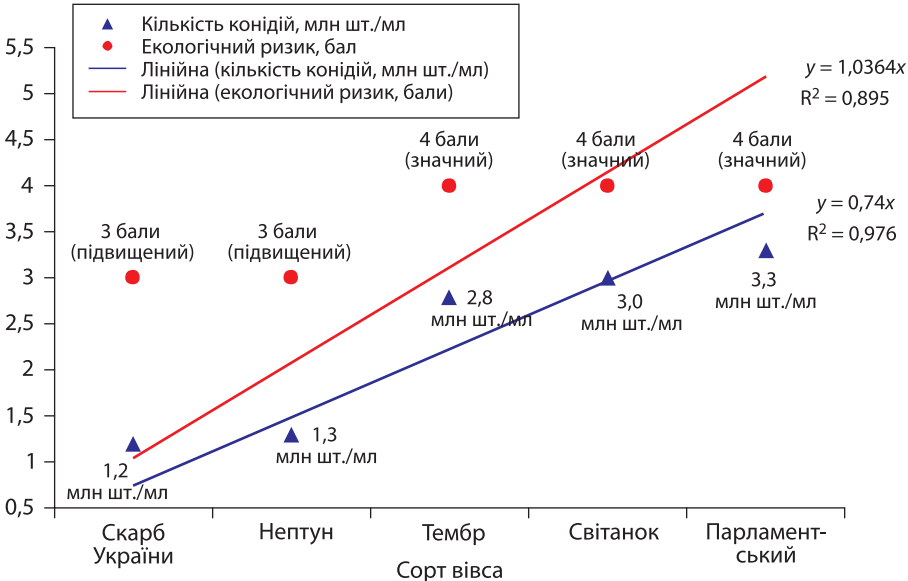


Рис. 2. Лінійна статистична залежність рівня екологічного ризику (бал) від інтенсивності споруляції (млн шт./мл) некротрофних мікроміцетів на насінні сортів вівса

досліджуваними показниками. Лінійна регресійна залежність для кількості конідій фітопатогенних мікроміцетів показує позитивну залежність, що описується рівнянням ($y=0,74x$) з високим коефіцієнтом детермінації ($R^2=0,976$). Це свідчить про те, що значна частина варіабельності кількості конідій (майже 97,6%) пояснюється зміною сортів вівса.

Лінійна регресійна залежність для екологічного ризику також пояснює високу кореляцію зростання рівня екологічного ризику зі збільшенням інтенсивності споруючості фітопатогенів. Рівняння цієї залежності ($y=1,0364x$) з коефіцієнтом детермінації $R^2=0,895$ підтверджує, що близько 89,5% варіабельності рівня екологічного ризику безпосередньо обумовлено інтенсивністю споруючості фітопатогенних мікроміцетів.

За взаємодії з рослинами сортів вівса Скарб України та Нептун, показники споруючості мікроміцетів сягають 1,2 і 1,3 млн шт./мл відповідно, та корелюють з підвищеним рівнем (3 бали) екологічної небезпеки. Водночас, висока інтенсивність споруючості фітопатогенних мікроміцетів під час взаємодії із сортами вівса Тембр, Світанок та Парламентський (2,8, 3,0 і 3,3 млн шт./мл відповідно) призводить до високого рівня (4 бали) екологічного ризику.

Отже, одержані результати дослідження показали, що інтенсивність споруючості фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів вівса є надійним кількісним індикатором для оцінки рівня потенційних екологічних загроз в агроценозі. Чітко виражена лінійна статистична залежність між цими параметрами свідчить про те, що вибір сорту вівса має безпосередній вплив на фітосанітарний стан насіння та подальше формування екологічних ризиків в агроценозі. Це пояснює про необхідність врахування сортової схильності до контамінації фітопатогенами під час планування агротехнічних заходів для мінімізації екологічних ризиків та забезпечення стабільності агроценозів.

Отже, контаміновані фітопатогенними мікроміцетами сорти сільськогосподар-

ських культур можуть становити небезпеку біологічного забруднення агроценозу та виникнення в ньому екологічної небезпеки. Інтенсивність споруючості у поєднанні з видовим складом фітопатогенів може бути використана як критерій оцінки рівня екологічного ризику. Для попередження назрівання екологічних ризиків за впливу біотичних чинників на розвиток епіфітотій в агроценозі, необхідно враховувати: наявність екологічних груп збудників хвороб рослин та інфекційних початків; існування сприятливих рослин-живителів у період виникнення епіфітотій; наявність та тривалість сприятливих екологічних умов для розвитку епіфітотій.

ВИСНОВКИ

Рівень екологічного ризику в агроценозі культурних рослин ячменю озимого та вівса значною мірою залежить від сортових особливостей та інтенсивності споруючості фітопатогенних мікроміцетів на насінні.

Чітка лінійна статистична залежність між інтенсивністю споруючості фітопатогенних мікроміцетів (млн шт./мл) та рівнем екологічної небезпеки (в балах) для сортів ячменю ярого та вівса дає можливість використовувати показник споруючості як надійний кількісний критерій для оцінки потенційних екологічних ризиків.

Контаміноване фітопатогенними мікроміцетами насіння є джерелом біологічного забруднення агроценозів, що може призводити до поширення хвороб, зниження продуктивності рослин та негативного впливу на біорізноманіття. Встановлений диференційований рівень екологічного ризику для різних сортів ячменю ярого та вівса підкреслює важливість сортового вибору.

Комплексний підхід, що охоплює ідентифікацію й оцінку впливу біотичних чинників та добір оптимальних інструментів регуляції, забезпечує ефективне попередження та мінімізацію екологічних ризиків розвитку епіфітотій в агроценозах, особливо в умовах біологічної деградації ґрунтів.

ЛІТЕРАТУРА

- Olowoyeye, T., Abegunrin, G., & Sojka, M. (2024). Are Agroecosystem Services Under Threat? Examining the Influence of Climate Externalities on Ecosystem Stability. *Atmosphere*, 15(12), 1480. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos15121480>.
- Парфенюк, А. І. (2017). Сорт рослин як чинник біологічної безпеки в агроценозах України. *Агро-екологічний журнал*, 2, 155–163. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220172>.
- Schatte, P., & Meyer, M. A. (2025). Assessing holistic agroecological resilience of agroecosystems from a landscape perspective: a systematic review. *Ecology and Society*, 30(2). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15077447>.
- Asghar, W., Craven, K. D., Swenson, J. R., Kataoka, R., Mahmood, A., & Farias, J. G. (2024). Enhancing the Resilience of Agroecosystems Through Improved Rhizosphere Processes: A Strategic Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(1), 109. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms26010109>.
- Molefe, R. R., Amoo, A. E., & Babalola, O. O. (2023). Communication between plant roots and the soil microbiome; involvement in plant growth and development. *Symbiosis*, 90, 231–239. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13199-023-00941-9>.
- De Vries, W. (2021). Impacts of nitrogen emissions on ecosystems and human health: A mini review. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 21, 100249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100249>.
- Semeraro, T., Scarano, A., Leggieri, A., Calisi, A., & De Caroli, M. (2023). Impact of Climate Change on Agroecosystems and Potential Adaptation Strategies. *Land*, 12(6), 1117. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12061117>.
- Trokhymenko, G. G., Grushyna, O. G., Marynets, O. M., & Blahodatnyi, V. V. (2022). Study of harmful effects of pesticides, especially seed producers, on the components of agroecosis. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/142940>.
- Yang, H., & Luo, P. (2021). Changes in photosynthesis could provide important insight into the interaction between wheat and fungal pathogens. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(16), 8865. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22168865>.
- Barret, M., Guimbaud, J. F., Darrasse, A., & Jacques, M. A. (2016). Plant microbiota affects seed transmission of phytopathogenic microorganisms. *Mol Plant Pathol.*, 17(6), 791–5. DOI: <https://doi.org/10.1111/mp.12382>.
- Поспелова, Г. Д., Коваленко, Н. П., Нечипоренко, Н. І., & Кочерга, В. Я. (2020). Вплив агрокліматичних факторів на розвиток основних хвороб сої. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*, (3), 45–52. DOI: [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3\(107\)-6](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3(107)-6).
- Marambe, B., & Wijesundara, S. (2021). Effects of climate change on weeds and invasive alien plants in Sri Lankan agro-ecosystems: policy and management implications. *Frontiers in Agronomy*, 3(36), 641006. DOI: <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.641006>.
- Безноско, І. В., Парфенюк, А. І., Шерстобоева, О. В., Гаврилюк, Л. В., Терновий, Ю. В., & Горган, Т. М. (2020). Видовий склад фітопатогенних мікроміцетів насіння сортів культурних рослин. *Агроекологічний журнал*, 2, 84–90. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207685>.
- Кулешов, А. В., Білик, М. О., Станкевич, С. В., & Забродіна, І. В. (2016). *Практикум з моніторингу шкідників сільськогосподарських культур*. Харків: ХНАУ.
- Станкевич, С. В., Забродіна, І. В., Білик, М. О., Євтушенко, М. Д., Туренко, В. П., Леженіна, І. П., & Малина, Г. В. (2021). *Теорія і технологія прогнозування і прийняття рішень у захисті і карантині рослин: навч. посіб.* Харків: вид-во Іванченка І.С.
- Grace, M. A., Achick, T. E., Bonghan, B. E., Bih, M. E., Ngo, N. V., Ajeck, M. J., ... Ntungwen, F. C. (2019). An overview of the impact of climate change on pathogens, pest of crops on sustainable food biosecurity. *International Journal of Ecotoxicology and Ecology*, 4, 114–119. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ijee.20190404.15>.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature ecology & evolution*, 3(3), 430–439. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>.
- Dresselhaus, T., & Hückelhoven, R. (2018). Biotic and Abiotic Stress Responses in Crop Plants. *Agronomy*, 8(11), 267. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy8110267>.
- Biswas, S., & Das, R. (2024). Organic farming to mitigate biotic stresses under climate change scenario. *Bull Natl Res Cent.*, 48, 71. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42269-024-01226-x>.
- Bommarco, R. (2024). Ecological redesign of crop ecosystems for reliable crop protection. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 44, 51. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-024-00987-z>.
- Балан, Г. О., & Мілкус, Б. Н. (2020). *Еніфітологія: методичні рекомендації*. Одеса.
- Ковалишина, Г. М., Дмитренко, Ю. М., Муха, Т. І., Мурашко, Л. А., & Волошук, С. І. (2017). Особливості розвитку хвороб пшениці озимої залежно від погодних умов. *Миронівський вісник*, (5), 166–183. DOI: <https://doi.org/10.31073/mvis.201705-13>.
- Петренко, В. П., Лучна, І. С., & Боровська, І. Ю. (2016). Залежність фітосанітарного стану посівів пшениці озимої від погодних умов. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*, (20), 60–68.
- Nikitin, D. A., Ivanova, E. A., Semenov, M. V., Zhelezova, A. D., Ksenofontova, N. A., Tkhakakhova, A. K., & Kholodov, V. A. (2023). Diversity, ecological characteristics and identification of some problematic phytopathogenic Fusarium in soil: a review. *Diversity*, 15(1), 49. DOI: <https://doi.org/10.3390/d15010049>.

25. Lenné, J., & Wood, D. (2024). Crop Diversity in Agroecosystems for Pest Management and Food Production. *Plants*, 13(8), 1164. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13081164>.
26. Ткачук, О. П., & Алексєєв, О. О. (2022). Технологічні та агроекологічні показники груп сортів сої за стиглістю. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер.: Агрономія і біологія*, 2(48), 165–172. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.22>.
27. Adeleke, B. S., Ayilara, M. S., Akinola, S. A., & Babalola, O. O. (2022). Biocontrol mechanisms of endophytic fungi. *Egyptian Journal of Biological Pest Control.*, 32(1), 46. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41938-022-00547-1>.
28. Beznosko, I., Havryliuk, L., Mazur, S., Gorgan, T., Mosiychuk, I., Bashta, O., ... Turovnik, J. (2023). Formation of the Population of Micromycetes in the Leaf Microbiome of Cereal Cultures Using Different Plant Cultivation Technologies. *Journal of Ecological Engineering*, 24(11), 236–248. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/171648>.
29. Мостов'як, І. І., Дем'янюк, О. С., Парфенюк, А. І., & Безноско, І. В. (2020). Сорт як фактор формування стійких агроценозів зернових культур. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 2, 110–118. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.02.13>.
30. Парфенюк, А. І., Благініна, А. А., Горган, Т. М., Безноско, І. В., Стерлікова, О. М., Ковтун, В. В., ... Горган, Н. О. (2014). *Екологічне оцінювання сортів пшениці за впливом на формування популяцій фітопатогенних грибів. Методичні рекомендації*. Київ, ТОВ «ДІА».
31. Кулешов, А. В., & Билик, М. О. (2014). *Практикум з прогнозу розвитку хвороб сільськогосподарських культур*. Харків: Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва.
32. Sakr, N. (2022). Adaptation of Phytopathogenic Fungi to Quantitative Host Resistance: *In Vitro* Selection for Greater Aggressiveness in Fusarium Head Blight Species on Wheat. *Cytol. Genet.*, 56, 261–272. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0095452722030112>.
33. Trivedi, P., Leach, J. E., Tringe, S. G., Sa, T., & Singh, B. K. (2020). Plant-microbiome interactions: from community assembly to plant health. *Nat. Rev. Microbiol.*, 18(11), 607–621. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0412-1>.
34. Khalifi, H., Bentata, F., Labhilili, M., Hammoumi, S., Karim, S., Abdelali, M., ... Ziri, R. (2025). Identification, Morphological Characterization and Distribution of Fusarium species in Moroccan Wheat. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 9(5). DOI: <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v9i5.59>.

Стаття надійшла до редакції журналу 16.07.2025