

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Факультет захисту рослин біотехнології та екології**

**ПОГОДЖЕНО**

**Декан факультету захисту  
рослин біотехнології та екології**

\_\_\_\_\_ Коломієць Ю.В.  
(підпис) (ПІБ)  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

**Завідувач кафедри фізіології,  
біохімії рослин та біоенергетики**

\_\_\_\_\_ Прилуцька С.В.  
(підпис) (ПІБ)  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему «Вірусні та грибкові хвороби пшениці в Україні та механізми впливу  
імунітету на врожайність»**

Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітня програма «Екологічна біотехнологія та біоенергетика»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми**

д. с.-г. наук, професор \_\_\_\_\_ Лісовий М.М.  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

Кандидат сільськогосподарських наук,  
доцент кафедри фізіології, біохімії  
рослин та біоенергетики

\_\_\_\_\_ Дашенко А.В.  
(підпис) (ПІБ)

**Виконала**

\_\_\_\_\_ Климчук А.І.  
(підпис) (ПІБ студента)

**КИЇВ – 2025**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет захисту рослин біотехнології та екології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри фізіології,  
біохімії рослин та біоенергетики  
\_\_\_\_\_ Прилуцька С.В.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

З А В Д А Н Н Я

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

\_\_\_\_\_ Климчук Анні Ігорівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Екологічна біотехнологія та біоенергетика»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Вірусні та грибкові хвороби пшениці в Україні та механізми впливу імунітету на врожайність»

затверджена наказом ректора НУБіП України від “07” листопада 2024р. № 2005 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру \_\_\_\_\_

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи : навчальні посібники, монографії, методичні вказівки, періодичні видання з теми дослідження, інтернет-ресурси, статистичні дані, емпіричні дані.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Проаналізувати літературні джерела щодо грибних і вірусних хвороб пшениці та механізмів імунітету рослин;
2. Провести фітопатологічну оцінку сортів пшениці;
3. Використання методу ІФА для виявлення вірусів;
4. Оцінити біометричні показники та структуру врожаю у досліджуваних сортах;
5. Визначити біологічну врожайність і встановити зв'язок між рівнем ураження та продуктивністю.

Перелік графічного матеріалу (за потреби) \_\_\_\_\_

Дата видачі завдання “11” листопада 2025 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

( підпис )

Дащенко А.В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис)

Климчук А.І.

(прізвище та ініціали студента)

## РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему: «Вірусні та грибкові хвороби пшениці в Україні та механізми впливу імунітету на врожайність» містить 60 сторінок, 4 таблиці, 15 рисунків, список використаних джерел із 68 найменувань, 2 додатки.

Структура магістерської кваліфікаційної роботи сформована відповідно до встановлених вимог і включає такі основні розділи:

- Вступ
- Огляд літератури
- Матеріали та методи дослідження
- Результати досліджень та їх обговорення
- Висновки
- Список використаних джерел
- Додатки.

**Актуальність теми.** Пшениця є ключовою зерновою культурою України, а вірусні та грибкові хвороби становлять одну з основних загроз для її продуктивності. Септоріоз, борошниста роса, листкова та жовта іржа, а також вірус жовтої карликовості ячменю (ВЖКЯ) спричиняють значні втрати врожаю, впливають на якість зерна та обмежують потенціал сортів за біотичних стресових умов. Вивчення механізмів імунітету пшениці є необхідною передумовою створення та впровадження високо стійких сортів, а також оцінки реальних втрат урожайності за комплексного ураження. Комплексне дослідження рівня стійкості сортів, інфекційного навантаження та структурних елементів урожаю дозволяє глибше зрозуміти роль імунної відповіді у формуванні продуктивності.

**Мета роботи** - дослідити прояви вірусних і грибкових хвороб пшениці за природного інфекційного фону, визначити рівень стійкості сортів та оцінити вплив інфекційного навантаження на біометричні показники й урожайність.

**Об'єкт дослідження** - рослини пшениці сортів Одеська напівкарликова, Куяльник, Щедрість та Дума.

**Предмет дослідження** - вірусні і грибкові хвороби та їх вплив на біометричні показники, структуру врожаю та урожайність пшениці.

**Методи дослідження** - фітопатологічні, серологічні, біометричні, аналітичні, статистичні.

Проаналізовано сучасні вітчизняні та закордонні публікації щодо поширення хвороб пшениці, механізмів імунної відповіді рослин та факторів, що визначають збереження структурних елементів врожаю в умовах стресу. Проведено фітопатологічну оцінку сортів за дев'ятибальною шкалою, встановлено рівень вірусного ураження ВЖКЯ методом ІФА, визначено основні біометричні параметри та урожайність.

**Ключові слова:** пшениця, грибкові хвороби, вірусні хвороби, імунітет рослин, урожайність, стійкість.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ .....	9
1.1. Значення пшениці в Україні та світі .....	9
1.2. Вірусні хвороби пшениці .....	12
1.3. Грибкові хвороби пшениці .....	14
1.4. Основні механізми захисту рослин від вірусних і грибкових інфекцій....	16
1.4.1 Фундаментальні молекулярні механізми захисту рослин.....	16
1.4.2. Генетичні основи стійкості пшениці до грибкових хвороб .....	19
1.4.3. Молекулярні механізми захисту від вірусних інфекцій .....	21
1.5 Зв'язок між імунітетом та врожайністю .....	21
1.6. Сучасні підходи до підвищення стійкості пшениці .....	24
Висновки до розділу .....	26
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ І МАТЕРІАЛИ .....	27
2.1 Об'єкт досліджень .....	27
2.2. Фітопатологічна оцінка рослин .....	27
2.3. Імуноферментний аналіз .....	28
2.4. Оцінка показників продуктивності та структури врожаю .....	29
2.5. Визначення біологічної урожайності.....	30
2.6. Методи статистичної обробки даних .....	31
Висновки до розділу .....	31
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	32
3.1 Фітопатологічна оцінка сортів пшениці за природного інфекційного фону .....	32
3.2. Ідентифікація вірусних патогенів методом ІФА .....	35
3.3. Біометричні показники та структура врожаю.....	37
3.4. Біологічна урожайність сортів пшениці .....	41
ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	46
ДОДАТКИ .....	55

## ВСТУП

Пшениця (*Triticum spp.*) є однією з найважливіших продовольчих культур у світі, адже забезпечує близько 20 % калорій та білка в харчуванні людства. Україна традиційно входить до п'ятірки провідних експортерів пшениці, відіграючи ключову роль у глобальній продовольчій безпеці. Водночас ефективність її вирощування суттєво обмежується дією біотичних факторів, серед яких найбільш економічно значущими є вірусні та грибкові хвороби. Вони спричиняють зниження фотосинтетичної активності, порушення метаболізму, формування щуплого зерна та потенційні втрати врожайності до 40-80 %. У сучасних умовах зміни клімату та збільшення циркуляції патогенів питання стійкості сортів пшениці набуває особливої актуальності.

Актуальність теми обумовлена необхідністю комплексного вивчення проявів вірусних і грибкових хвороб у природних умовах та визначення механізмів імунної резистентності, що забезпечують збереження продуктивного потенціалу пшениці. Важливою науковою та практичною задачею є встановлення взаємозв'язку між рівнем ураження та такими ключовими характеристиками, як біометричні параметри, структура врожаю і урожайність. Отримані результати мають значне значення для селекційних програм, систем захисту рослин та агротехнологій вирощування високопродуктивних сортів.

**Мета дослідження** - оцінити вплив вірусних та грибкових хвороб на фітопатологічний стан, продуктивність та біологічну урожайність сортів пшениці за умов природного інфекційного фону.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

1. Вивчити поширення основних вірусних і грибкових хвороб у досліджуваних сортів пшениці.
2. Описати прояви симптомів вірусних і грибкових інфекцій у польових умовах.

3. Встановити рівень стійкості сортів за допомогою дев'ятибальної шкали фітопатологічної оцінки.
4. Виявити наявність вірусу жовтої карликовості ячменю методом DAS-ELISA.
5. Оцінити біометричні показники рослин та структуру врожаю.
6. Розрахувати біологічну урожайність сортів та визначити її залежність від ураження патогенами.
7. Узагальнити вплив рівня імунітету на продуктивність пшениці та надати рекомендації щодо використання найбільш стійких сортів.

**Об'єкт дослідження** - рослини пшениці сортів Одеська напівкарликова, Куяльник, Щедрість та Дума.

**Предмет дослідження** - вірусні і грибкові хвороби та їх вплив на біометричні показники, структуру врожаю та урожайність пшениці.

**Методи дослідження:**

- фітопатологічний аналіз;
- метод ІФА для серологічної діагностики вірусів;
- біометричні вимірювання агрономічно цінних ознак;
- визначення біологічної урожайності за структурними елементами;
- статистична обробка даних.

**Апробація результатів дослідження:** представлені на конференціях: IV Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, присвяченій 127-річчю НУБіП України «Досягнення і перспективи в захисті та карантині рослин» (Київ, 2025) (Додаток А) та XI Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Екологія – філософія існування людства» (Київ, 2025) (Додаток Б).

## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1. Значення пшениці в Україні та світі

Пшениця (*Triticum spp.*) належить до числа провідних зернових культур планети і відіграє вирішальну роль у забезпеченні продовольчої безпеки. Згідно зі статистикою FAO, у 2023 році всесвітня площа посівів пшениці склала понад 215 млн га, а обсяг врожаю - більше 770 млн тонн [1]. Країнами-лідерами у вирощуванні культури є Китай, Індія, США та Франція. До топ-10 країн виробників входить і Україна (рис 1.1). Пшениця складає приблизно 20 % усього споживання калорій і білків у раціоні людства, що свідчить про її стратегічну важливість [1,2]

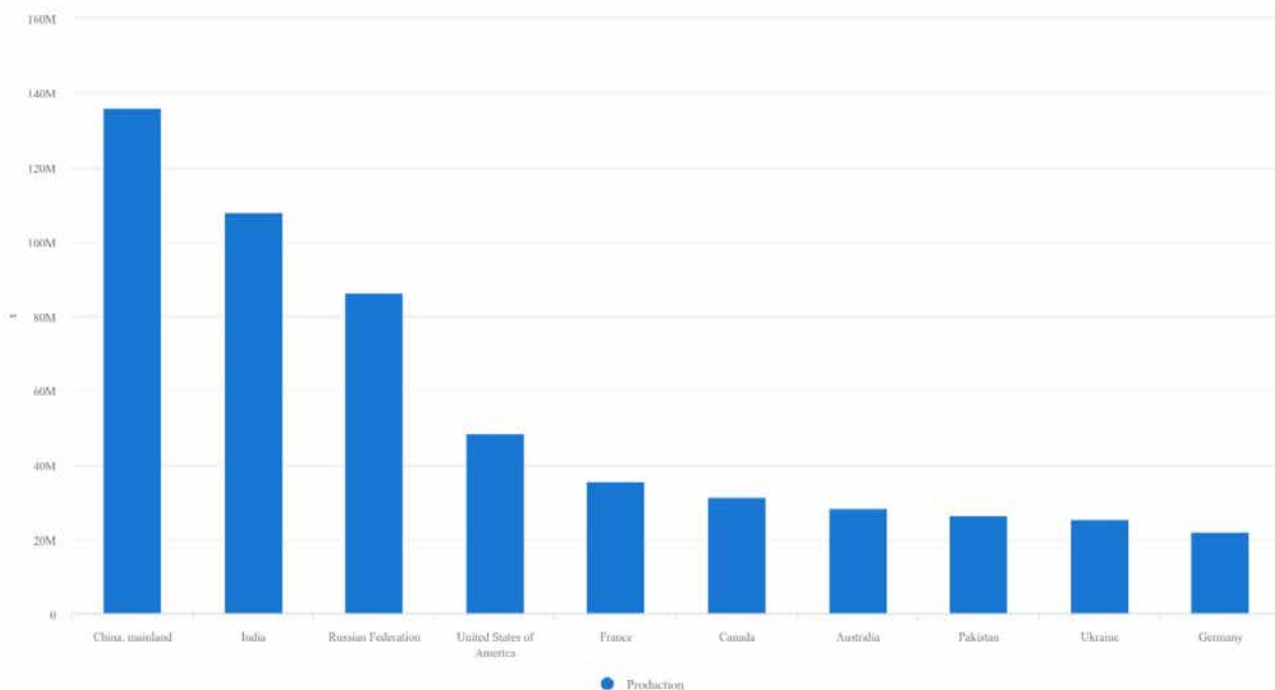


Рис 1.1. Топ країн за вирощуванням пшениці [1]

Основними регіонами вирощування є степова та лісостепова зони, де кліматичні умови сприятливі для формування високих врожаїв. За даними Міністерства аграрної політики України, станом на вересень 2025 року було намолочено близько 22 189,9 тис. т. пшениці з площі 5 008,2 тис. га. , а урожайність склала 44,3 ц/га [3].

За обсягом експорту, Україна за даними FAO (рис 1.2), постійно входить до п'ятірки найбільших експортерів даної культури у світі [1]. До початку

повномаштабного вторгнення у 2022 році на її припадало близько 10-12% світового експорту пшениці, що вимірюється у 25-30 млн тонн пшениці, яке у свою чергу являє собою не просто сирий тоннаж, а й критично важливе джерело доступного зерна для країн, що розвиваються, які значною мірою залежать від імпорту пшениці для своєї продовольчої безпеки. [4,5].

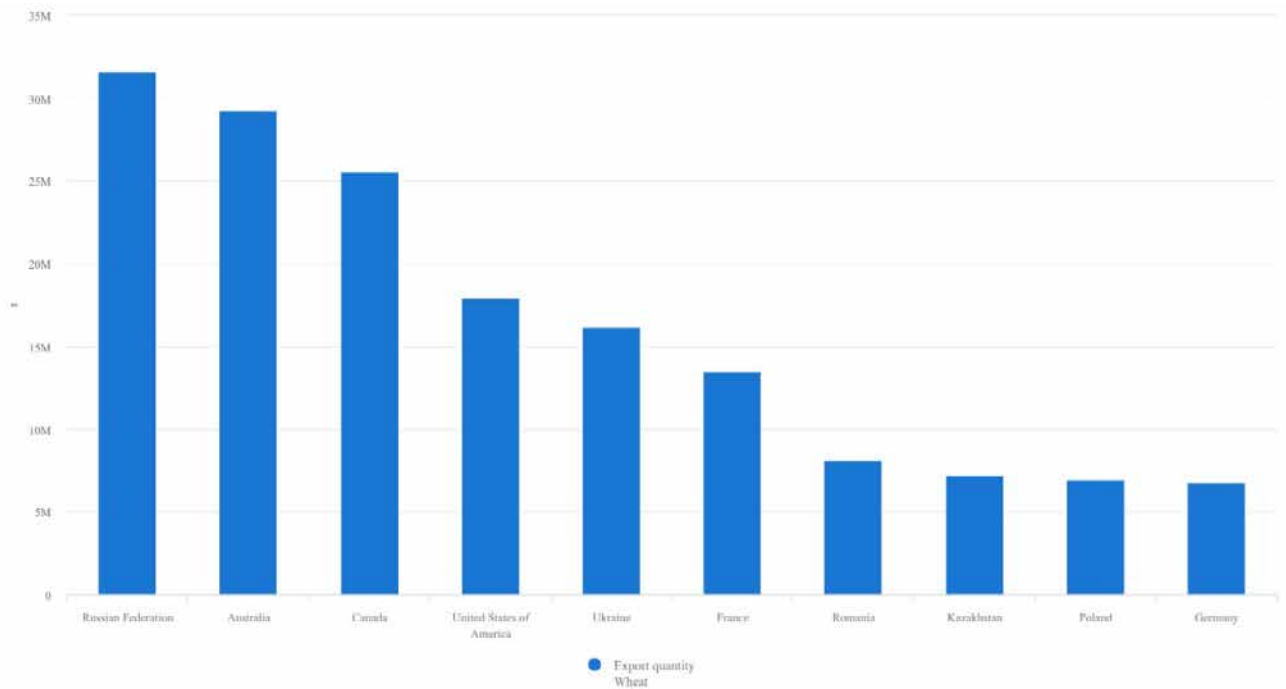


Рис 1.2. Топ експортерів пшениці у світі [1]

Експорт української пшениці традиційно орієнтується на різноманітні світові ринки, зокрема на Близький Схід та Північну Африку, де основними імпортерами є такі країни, як Єгипет, Ліван та Туніс. Значну частину імпорту української пшениці здійснюють країни Африки на південь від Сахари, які в значній мірі залежать від зовнішнього імпорту зерна. Крім того, Південна та Південно-Східна Азія, зокрема Бангладеш та Індонезія, також покладаються на українську пшеницю для задоволення своїх потреб. Деякі країни-члени Європейського Союзу імпортують українську пшеницю як для харчових, так і для кормових цілей. Такий географічний розподіл підкреслює роль України як надійного постачальника пшениці до регіонів із обмеженими внутрішніми виробничими потужностями зернових культур [6].

Сільське господарство, ключовим компонентом якого є пшениця, традиційно займає одне з ключових місць в економіці України, його значення проявляється в кількох етапах.

По-перше, експортні надходження. Сільськогосподарська продукція, з пшеницею включно, історично становило значну частину загального обсягу експортних надходжень, часто досягаючи 15-20% від загального обсягу експорту за вартістю. Це робить цей сектор ключовим для збереження платіжного балансу країни та підтримки стабільності національної валюти [7].

По-друге, зайнятість. Сільськогосподарський сектор займає більше мільйонів українців та підтримує великі сільські громади. Виробництво пшениці забезпечує сезонні робочі місця та стимулює суміжні галузі, такі як транспортування, зберігання та переробку зерна [7].

По-третє, внесок у ВВП. Сільське господарство генерує приблизно 10-12% ВВП України, причому виробництво пшениці є значною складовою цього внеску [7].

Дослідження свідчать, що перебої в експорті української пшениці здатні впливати на глобальну продовольчу безпеку, показавши значні ризики для різних регіонів. Моделювання засвідчує, що в разі повної втрати українського експорту споживання пшениці може скоротитися: у країнах Африки на південь від Сахари - на 57 %, у країнах Близького Сходу та Північної Африки - на 39 %, а в Південній Азії - на 19 %. Такі прогнози демонструють непропорційний негативний вплив на регіони, які й без того стикаються з проблемами продовольчої безпеки та мають обмежені можливості компенсувати втрати за рахунок імпорту з альтернативних джерел. Це підкреслює роль України як одного з ключових гарантів стабільності світових зернових ринків і важливого постачальника пшениці для найбільш залежних від зовнішніх ресурсів країни [6].

Високе значення України у світовому виробництві пшениці зумовлене поєднанням природних ресурсів та ефективності аграрного сектору. Передусім, країна володіє одними з найродючіших ґрунтів у світі, чорноземами, які відзначаються високим вмістом органічної речовини та поживних елементів, що

створює ідеальні умови для вирощування пшениці [7,8]. Континентальний клімат із чітко вираженими сезонами забезпечує можливість культивування як озимих, так і ярих сортів культури. Крім того, Україна має значні земельні ресурси: близько 32 млн га сільськогосподарських угідь, з яких приблизно 22 млн га є орними, що дозволяє формувати потужну зернову базу [7]. До початку воєнних дій країна досягла значного прогресу у підвищенні ефективності виробництва: завдяки впровадженню сучасних агротехнологій та високопродуктивних сортів середня врожайність пшениці наблизилася до провідних міжнародних показників. Важливу роль відіграли також масштаби виробництва, механізація сільськогосподарських процесів і розвиток інфраструктури зберігання, транспортування та експорту, що забезпечило інтеграцію української пшениці у глобальні ринки [7,8].

Таким чином, поєднання природних ресурсів, економічної ролі та експортної орієнтації пшениці сприймають як стратегічну культуру не тільки для України, але й для всього світу.

## 1.2. Вірусні хвороби пшениці

Вірусні хвороби пшениці становлять суттєву загрозу агроценозам, оскільки пригнічують ріст рослин, знижують фотосинтетичну активність, погіршують якість зерна та здатні спричинити втрати врожаю до 80 %. Віруси пшениці є облігатними паразитами, що використовують клітинні механізми рослини-господаря для реплікації та поширення. На сьогодні описано понад 50 вірусів, здатних інфікувати пшеницю [9], серед яких найбільш поширені та економічно значущі: вірус смугастої мозаїки пшениці (WSMV), що передається кліщем *Aceria tosichella* [10]; віруси жовтої карликовості ячменю (BYDV), переносниками яких є попелиці (*Rhopalosiphum padi*, *Sitobion avenae*) [11]; вірус мозаїки пшениці високих рівнин (HPWMoV), вперше виявлений в Україні у 2018 році [12, 13]; та ґрунтовий вірус мозаїки пшениці (SBWMV), що поширюється через гриб *Polymyxa graminis* [14] (рис 1.3.. Дані патогени реєструються у всіх основних зонах вирощування пшениці [9].



Рис. 1.3 Найбільш поширені віруси пшениці

Віруси трапляються як у вигляді моноінфекцій, так і у форматі змішаних уражень, які значно посилюють патогенність та ускладнюють діагностику. За результатами дослідження [15], в Україні WSMV був присутній у понад 85 % рослин із симптомами, тоді як HPWMoV - у близько 40 %, а близько третини випадків становили змішані інфекції цих вірусів. Типові симптоми вірусного ураження включають хлороз або мозаїчність листків, карликовість, затримку куціння, формування недорозвинених чи пустих колосків та зменшення маси зерна [16]. За прогресування інфекції мозаїчні візерунки поширюються по листовій пластинці, супроводжуючись передчасним старінням та різким зниженням продуктивності [17].

Моніторинг вірусних інфекцій у Полтавській, Харківській та Київській областях у 2011-2017 рр. показав значну варіабельність зараження залежно від року: частка інфікованих WSMV рослин коливалася від 7 до 42 %, тоді як BYDV реєструвався на рівні 1-2 % [18]. Погодні умови, температура, опади і глибина промерзання ґрунту істотно впливали на інтенсивність поширення патогенів. Насіннева передача WSMV в Україні була визначена як мінімальна або відсутня, що знижує її епідеміологічне значення [18].

Важливу роль мають і взаємодії вірусів у змішаних інфекціях. Було встановлено, що BYDV-PAV накопичується швидше та ефективніше передається у рослинах, одночасно інфікованих вірусом карликовості пшениці WDV, що свідчить про їх асиметричну взаємодію [19]. Однак найбільшої шкоди завдають змішані інфекції WSMV та HPWMoV, які значно посилюють симптоми та спричиняють різке зниження продуктивності рослин [20]. В Україні моноінфекція WSMV домінує, приблизно 60 % випадків, проте у певних регіонах понад 30 % це змішані зараження [20]. Втрати врожаю від BYDV значною мірою залежать від чисельності попелиць-переносників на ранніх фазах розвитку пшениці, а використання сортів, стійких до попелиць, дозволяє суттєво зменшити інфекційний тиск та знизити економічні збитки [21].

### 1.3. Грибкові хвороби пшениці

Грибкові хвороби є одними з найпоширеніших і найбільш шкідливих патологій пшениці, що вражають усі органи рослини - від коренів до колоса.

Згідно з дослідженнями, серед ключових збудників у посівах пшениці в Україні виділяють *Gaeumannomyces graminis var. tritici* (прикоренева гниль), *Oculimacula* spp. (очкова плямистість), *Ceratobasidium cereale* (гостра плямистість) та представників родів *Alternaria*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Helminthosporium*, *Zymoseptoria* [22]. Ці патогени мають різні екологічні особливості: наприклад, *G. graminis* є ґрунтовим збудником, який зберігається у залишках коренів і ґрунті, тоді як *Oculimacula* spp. і *C. cereale* поширюються через ушкоджені рослинні рештки [22].

Кожен із збудників характеризується специфічними ознаками ураження. При септоріозі листя (*Zymoseptoria tritici*, *Parastagonospora nodorum*) утворюються світло-брунатні плями з темними пікнідами, що з часом об'єднуються і знижують фотосинтетичну активність [23]. Фузаріоз колоса (*Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum*) проявляється побурінням колоскових лусок, рожевим нальотом міцелію та формуванням щуплих, зморщених зернівок [24]. У випадку прикореневої гнилі корені стають темними

й ламкими, стебло втрачає пружність, що призводить до вилягання рослини [25] (рис 1.4.).

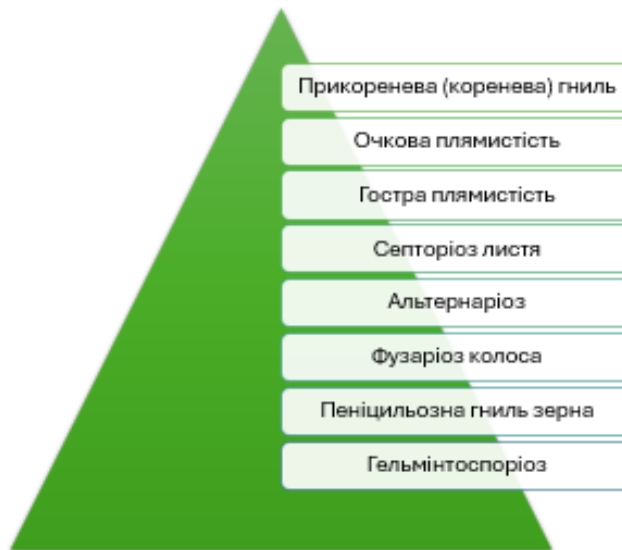


Рис. 1.3 Найбільш поширені грибові хвороби, що уражають пшеницю

Поширення грибових інфекцій залежить від кліматичних і агротехнічних умов вирощування. Зокрема, у північних регіонах України частіше зустрічається *Oculimacula aciformis*, тоді як на півдні домінує *O. yallundae*. *Ceratobasidium cereale* поширений у всіх зонах вирощування [22]. Стверджується, що висока вологість і помірна температура стимулюють розвиток септоріозу, тоді як тепла й дощова погода під час цвітіння створює сприятливі умови для фузаріозу колоса. Крім того, залишки стерні, тривале вирощування пшениці на одному полі та надмірне удобрення азотом сприяють накопиченню інокулюму збудників у ґрунті [23].

Грибові захворювання спричиняють істотні економічні втрати для аграрного сектору. Через ураження грибами щорічне падіння урожайності становить від 25 до 40 % потенційного рівня [22]. Септоріоз листя може скоротити врожайність на 30-50 %, а фузаріоз колоса - до 40 % [22, 23]. Крім кількісних втрат, погіршується якість зерна: знижується маса 1000 зерен, а також зменшується вміст білка і клейковини. Накопичення мікотоксинів, таких як дезоксиніваленол та зеараленон, становить небезпеку для здоров'я людей і

тварин [24]. Використання фунгіцидів проти фузаріозу дозволяє зберегти додатково від 0,3 до 0,6 т/га зерна [24].

Грибкові хвороби є одним із ключових чинників, що обмежують урожайність і якість зерна пшениці. Їхній контроль потребує комплексного інтегрованого підходу, який включає селекцію стійких сортів, сівозміну, грамотне застосування агротехнічних заходів і своєчасну фунгіцидну обробку [22-25].

#### **1.4. Основні механізми захисту рослин від вірусних і грибкових інфекцій**

##### **1.4.1 Фундаментальні молекулярні механізми захисту рослин**

Імунітет рослин - це багатошарова система, у якій розрізняють два основних рівні: імунітет, що активує патоген-асоційованими молекулярними патернами (PTI), та імунітет, що активує ефекторами (ETI) [26]. Перший рівень, PTI, забезпечує базовий захист. У випадку, коли патоген секретує спеціальні білки - ефектори, які блокують PTI, активується другий рівень, ETI [27].

Патоген-асоційованими молекулярний патерн ініціюється розпізнаванням консервативних, еволюційно збережених мікробних (PAMPs) або асоційованих із пошкодженням (DAMPs) патернів. Це розпізнавання здійснюється трансмембранними рецепторами розпізнавання патернів, які функціонують на клітинній мембрані [27].

Одним із класичних прикладів є рецептор FLS2, який спеціалізується на виявленні, пептидного фрагмента бактеріального джгутіка [28]. Після зв'язування пептида, рецептори взаємодіють з консервативними сигнальними партнерами, відомими як корецептори. У пшениці та інших злаках ці комплекси включають такі білки, як CERK1, SOBIR, та BAK1 або BKK1 [27]. Формування цих рецепторних комплексів запускає ранні сигнальні каскади.

Далі ці каскади PTI включають швидку генерацію активних форм кисню та активацію кальцієвої сигналізації. Активні форми кисню, що утворюються є раннім ключовим сигналом, що генерується ферментом NADPH-оксидазою, або

так звана RBOHD. Активація RBOHD відбувається за посередництва рецептор-подібної цитоплазматичної кінази WIPK [28]. Цей фермент також відіграє роль у кальцієвій сигналізації, швидко фосфорилуючи канали  $Ca^{2+}$ , що призводить до транзйентного припливу  $Ca^{2+}$  в цитоплазму. Цей сплеск  $Ca^{2+}$  не лише слугує імунним сигналом, але й контролює фізіологічні процеси [28].

Другий рівень іменної реакції рослин ЕТІ є більш потужною формою захисту, яка виникла для протидії патогенам, які успішно пригнічують перший рівень захисту за допомогою секреції ефektorних білків [29]. ЕТІ запускається, коли рослина-господар розпізнає один або кілька таких ефektorів. Це розпізнавання найчастіше відбувається за допомогою внутрішньоклітинних рецепторів, що належать до класів нуклеотид-зв'язування та лейцин-багатих повторів NLR.

Розпізнавання ефektorів підпорядковується моделі "рецептор-ліганд", де один NLR-білок прямо зв'язує одну молекулу ефektора [29]. Наприклад, у пшениці CC-NLR білок Sr35 прямо взаємодіє з ефektorом AvrSr35 за допомогою свого LRR-домену. Зв'язування ефektора призводить до зняття внутрішньо молекулярного аутоінгібування в Sr35, викликаючи конформаційні перебудови, які активують захисну відповідь [29].

Кульмінацією ЕТІ є гіперчутлива відповідь - швидка, локалізована, генетично регульована загибель клітин у місці інфекції [30]. Гіперчутлива відповідь є надзвичайно ефективною проти біотрофних патогенів (таких як іржа), оскільки вони повністю залежать від живих клітин господаря для отримання поживних речовин [26]. ЕТІ-залежна стійкість пов'язана із двофазним накопиченням активних форм кисню. Після першої, низькоінтенсивної фази, типової для РТІ, ЕТІ викликає другий, стійкий і значно потужніший сплеск активних форм кисню. Цей сплеск необхідний для реалізації гіперчутливої відповіді, що призводить до некрозу та локалізації патогена [31].

Дослідження підтверджують, що РТІ та ЕТІ не функціонують ізольовано, а є частинами цілісної імунної системи, які взаємно посилюють ефекти один одного [26]. Наприклад, імунна відповідь ЕТІ значно компрометується у

мутантів, де порушені функції трансмембранних рецепторів розпізнавання патерні та корецепторів [28]. Це свідчить про те, що для досягнення максимальної ампліфікації захисту, ініційованого NLR-білками, необхідний функціонуючий каркас базальної сигналізації РТІ. Таким чином, розпізнавання специфічного ефектора (ЕТІ) інтегрується з низхідними шляхами РТІ (включаючи генерацію активних форм кисню та  $Ca^{2+}$  сигналізацію), використовуючи їхні компоненти для масштабування відповіді [26, 28].

Також було виявлено, що патогени активно націлені на придушення обох шарів захисту. Деякі ефектори грибкових патогенів (*Puccinia spp.*) можуть пригнічувати як гіперчутливу відповідь, так і базальну імунну відповідь. Наприклад, ефектор пригнічує імунну відповідь, викликану РТІ [32]. Такий механізм демонструє еволюційну гонку озброєнь, де патогени не просто намагаються уникнути розпізнавання R-генів, але й активно нейтралізують фундаментальні компоненти вродженого імунітету. Це пояснює еволюційну необхідність розвитку високоспецифічного ЕТІ, метою якого є розпізнавання та нейтралізація саме цих супресорів РТІ [32].

Основні відмінності між РТІ та ЕТІ наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

### Порівняльний аналіз двох рівнів імунітету пшениці

Параметр	РТІ (PAMP-Triggered Immunity)	ЕТІ (Effector-Triggered Immunity)
Тригер	PAMPs (консервативні молекулярні патерни)	Ефектори патогенів (виділяються для пригнічення РТІ)
Рецептори	Рецептори розпізнавання патернів (наприклад, FLS2), Ко-рецептори (BAK1, CERK1)	NLR-білки (наприклад, Sr35), розпізнавання за моделлю "рецептор-ліганд"

Продовження таблиці 1.1.

Сигнальні події	Генерація активних форм кисню (фаза I), інфлюкс, активація VIK1/RVOND	Сильна, ампліфікована відповідь
Результат	Базальна стійкість, уповільнення інфекції	Висока, расово-специфічна стійкість (часто повна)

#### 1.4.2. Генетичні основи стійкості пшениці до грибкових хвороб

Генетична стійкість пшениці до грибкових хвороб, зокрема до іржі (*Puccinia spp.*) та борошнистої роси (*Blumeria graminis*), є результатом складної взаємодії між генетичними факторами самої рослини та еволюційними адаптаціями патогенів.

Іржа є одна з найдавніших і найнебезпечніших хвороб пшениці, що спричиняє значні втрати врожаю в усьому світі. Селекційні програми для контролю іржі базуються переважно на використанні расово-специфічних R-генів, які кодують білки-рецептори, здатні розпізнавати ефектори патогенів і запускати імунну відповідь. Ці гени традиційно позначаються як «leaf rust», «stem rust» та «stripe rust» залежно від типу іржі, проти якої вони зберігають стійкість [33]. Ефективна стратегія боротьби з іржею відбувається у пірамідуванні, тобто об'єднанні кілька R-генів в одному генотипі. Такий підхід надав стабільність і широкий спектр стійкості. Крім того, шляхом традиційного беккросингу в елітні сорти пшениці були інтегровані незалежні сегменти ДНК, що утворюють кластеригени Lr19/Sr25 та Sr36/Pm6. Отримані лінії BC3–F5 продемонстрували високу стійкість до листової та стеблової іржі, а також до борошнистої роси на дорослій стадії розвитку проти наявних посиленних патотипів [33]. Використання методів генетичного картування, таких як аналіз популяцій рекомбінантних інбредних ліній (RIL), дозволяє ідентифікувати як відомі, так і нові джерела стійкості. У дослідженні, проведеному на сорті «Victo»

було виявлено два локуси кількісної ознаки для стійкості до листкової іржі [34]. Основний локус, розташований на хромосомі 5D, пояснював близько 59% фенотипової мінливості. Хоча цей локус мав позиційну відповідність із відомим геном Lr1, молекулярний аналіз показав наявність поліморфізмів, які не дозволяють про можливу наявність нового функціонального алеля Lr1 із розширеним спектром дії [34].

Борошниста роса, є ще одним поширеним листовим захворюванням пшениці. Стійкість до цього патогена також зумовлена специфічними генами, які позначаються як Rm. Серед них Rmб часто використовується в поєднанні з генами іржі, зокрема Sr36, що забезпечує ефективність селекційних програм [37]. Генетичне картування виявило сильний локус, пов'язаним зі стійкістю до борошнистої роси. Даний локус, розташований на хромосомі 7A, відповідає приблизно 90% фенотипової мінливості, що проявляє домінуючу роль у формуванні резистентності [34]. На молекулярному рівні окремі Rm-гени, наприклад Rm5e, характеризуються варіабельністю доменної структури, зокрема наявністю скороченого СС-домену, що може впливати на специфічність взаємодії з ефекторами патогенів [35].

Довговічна стійкість дорослих рослин, це гени забезпечують часткову, але стабільну резистентність, що часто проявляється лише на пізніх стадіях розвитку рослин [36,37]. На відміну від розово-специфічних R-генів, які можуть бути подолані патогенами внаслідок мутацій у їх ефекторах, такі гени діють через кілька механізмів, що зменшують швидкість інфекції та розвиток збудника. Прикладом є ген Sr2, який залишається ефективним протягом майже століття, забезпечуючи тривалу стійкість проти стеблової іржі [37]. Інший важливий ген, Lr34, кодує білок АВС-транспортер, який забезпечує мультифункціональну стійкість лише до листкової іржі, але й до борошнистої роси та септоріозу [38]. Цей ген не запобігає зараженню, але уповільнює розвиток хвороби, зменшуючи інтенсивність симптомів. Саме така «зменшувальна» резистентність є менш чутливою до еволюційних змін патогенів, що робить її ключовою у створених сортах із довговічним імунітетом [37, 38].

### 1.4.3. Молекулярні механізми захисту від вірусних інфекцій

На відміну від грибкових патогенів, вірусні інфекції у пшениці активують принципово інший, але надзвичайно ефективний механізм клітинного захисту - РНК-інтерференцію або РНК-сайленсинг. Цей механізм є еволюційно консервативною формою противірусного імунітету, притаманною більшості еукаріотів, і базується на здатності клітини розпізнавати дволанцюгову РНК, що з'являється під час реплікації вірусного геному [39]. Після виявлення РНК спеціалізований фермент розщеплює її на короткі малі інтерферуючі РНК. Ці молекули зв'язуються з білковим комплексом, у складі якого ключову роль відіграють ферменти родини *Argonaute*. Вони розпізнають і розщеплюють комплементарні ділянки вірусної мРНК, що призводить до її деградації або блокування трансляції, тим самим перериваючи життєвий цикл вірусу [39]. Саме на основі цього природного механізму формується і сучасна біотехнологічна стратегія створення РНКі-рослин - трансгенних ліній, у яких індуковано специфічний захист проти певних вірусів [40].

Одним із найбільш досліджених прикладів є вірус смугастої мозаїки пшениці (WSMV) [41]. У пшениці було ідентифіковано кілька генів стійкості до цього патогену, об'єднаних під позначенням *Wsm*. Серед них найвідоміші - *Wsm1*, *Wsm2*, *Wsm3* та *c2652*. Гени *Wsm1* та *Wsm3* були інтрогресовані у хлібну пшеницю з дикого родича - пирію середнього (*Thinopyrum intermedium*), що забезпечило природну стійкість рослин до інфекції [42]. Важливою перевагою цих генів є їхня здатність знижувати не лише прояв симптомів, але й рівень передавання вірусу через інфіковане насіння, що робить їх цінними для стабільного польового контролю [43].

Однак ефективність дії генів *Wsm1* і *Wsm2* виявилася термочутливою - при підвищенні температури понад 20 °C рівень стійкості різко знижується [42]. Це створює ризик ураження рослин у теплі періоди вегетації, особливо під час раннього посіву або теплої осені. Через це їх застосування обмежене переважно регіонами з помірним кліматом.

Крім того, у природних умовах WSMV часто співіснує з іншим патогеном - *Triticum mosaic virus* (TriMV). Спільна інфекція викликає виражену вірусну синергію, при якій відбувається значне зростання титрів обох вірусів і посилення симптомів хвороби [41].

Особливо складним є випадок стійкості, опосередкованої геном Wsm2. Дослідження показали, що у разі коінфекції WSMV і TriMV навіть сорти, що містять Wsm2, демонструють підвищену чутливість - симптоми у них виявляються сильніше, ніж у контрольних ліній [41]. Це пояснюється тим, що TriMV виробляє білки-супресори РНК-інтерференції (VSRs), які пригнічують механізм дії Wsm2, зводячи нанівець противірусну активність. Таким чином, перевага генетичної стійкості втрачається в умовах змішаних інфекцій, що створює «компромісну» ситуацію між специфічною резистентністю та загальною польовою толерантністю.

Важливою альтернативою є генетична стійкість до вектора-переносника. Гени Cmc3 і Cmc4, що забезпечують резистентність до кліща *Aceria tosichella*, виявилися ефективними для запобігання поширенню вірусу в польових умовах. Механізм їх дії полягає у зниженні життєздатності та плодючості кліща, а також у пригніченні накопичення вірусу як у рослинній тканині, так і в самому векторі. На відміну від Wsm-генів, дія Cmc3 і Cmc4 не залежить від температури, що робить їх перспективними для стабільної інтеграції у програми селекції стійких сортів [41].

Попри досягнення у створенні ліній пшениці, стійких до WSMV, актуальною залишається потреба в ідентифікації нових джерел термостабільної резистентності, особливо проти TriMV, а також у комбінованих підходах, що одночасно спрямовані на вірус і його переносника [43]. Така стратегія може забезпечити більш надійний і довготривалий контроль вірусних мозаїк у глобальному масштабі, зменшуючи ризики втрат урожаю.

### 1.5 Зв'язок між імунітетом та врожайністю

Активація імунної системи рослини є енергозатратним процесом, який потребує значних ресурсів, що могли б бути використані для росту або формування врожаю. Між імунітетом і продуктивністю спостерігається компроміс: підвищення стійкості часто супроводжується зменшенням біомаси або урожайності. Цей феномен підтверджено численними дослідженнями на пшениці, арабідопсисі, рисі та кукурудзі [44,45]. Наприклад, конститутивна активація імунітету, зокрема через експресію генів PR (pathogenesis-related proteins), може призводити до гальмування росту пагонів і зменшення маси зерна, що свідчить про негативний агрономічний ефект надмірної імунної активності, навіть попри кращий захист від патогенів [44].

Згідно з еволюційною теорією розподілу ресурсів, рослина має обмежену кількість енергії та метаболітів, які розподіляються між основними життєвими процесами - ростом, розмноженням і захистом [46]. Активація імунітету споживає частину цих ресурсів, перенаправляючи їх від процесів росту та наливу зерна до синтезу захисних білків, фітогормонів (саліцилової, жасмонової, етиленової кислот) та антиоксидантних сполук. Такий метаболічний «конфлікт інтересів» може знижувати продуктивність навіть за відсутності активної інфекції [47].

Біохімічна активація імунної відповіді потребує інтенсивного споживання енергії у вигляді АТФ та відновлювальних еквівалентів НАДФН, що утворюються у процесах фотосинтезу та дихання. Під час інфекції активується окисний вибух, синтез фенольних сполук, фіталексинів і білків PR, що збільшує енергетичне навантаження на клітину [48]. Значна частина вуглецевих метаболітів при цьому перенаправляється з первинного метаболізму (асиміляції вуглецю, синтезу крохмалю, ліпідів) у вторинний метаболізм, відповідальний за захист. Це зменшує запаси асимілянтів, необхідних для формування зерна, особливо у фазі наливу.

Існує два основних типи захисних стратегій це стійкість і толерантність. Стійкість зменшує рівень інфекції, тоді як толерантність мінімізує шкодочинний

вплив патогену на врожай без істотного пригнічення самого патогену [49]. Толерантність часто супроводжується меншими витратами ресурсів і вважається більш «енергетично вигідною» формою захисту. Наприклад, сорти пшениці, толерантні до фузаріозу колоса, зберігають врожай навіть за наявності інфекції, тоді як високо резистентні лінії можуть демонструвати зниження продуктивності через надмірні енергетичні витрати на захисні реакції [50].

Під час активації системи захисту спостерігається пригнічення активності фотосистеми II, зниження швидкості фотосинтетичного газообміну та зменшення вмісту хлорофілу [51]. Це обумовлено утворенням активних форм кисню та перебудовою метаболізму у бік захисних реакцій. У пшениці інфікування грибами роду *Puccinia* або *Fusarium* супроводжується зниженням ефективності фотосинтезу на 20-40 %, що безпосередньо впливає на формування ендосперму і масу зерна. Крім того, активація системної набутої резистентності за участю саліцилової кислоти також може інгібувати фотосинтез, особливо на ранніх етапах відповіді, знижуючи вміст вуглеводів, необхідних для наливу зерна [52].

### **1.6. Сучасні підходи до підвищення стійкості пшениці**

Сучасні стратегії підвищення стійкості пшениці до вірусних і грибкових хвороб базуються на поєднанні традиційної селекції та молекулярних технологій. Класично стійкість забезпечувалася генами резистентності, які формують расово-специфічний тип захисту за моделлю «ген-за-ген» та активують локальну гіперчутливу відповідь [53]. Хоча такі гени забезпечують швидку реакцію, їх ефективність часто є недовготривалою через появу нових вірулентних рас патогенів.

Тому сучасні селекційні програми орієнтовані на кількісну, расово-неспецифічну стійкість дорослих рослин. Полігенні гени Lr34, Lr46, Lr67, Sr2 забезпечують тривалу та стабільну резистентність, зменшуючи шкодочинність збудників без суттєвого пригнічення ростових процесів [53]. Особливу увагу

приділяють генам із плейотропною дією, наприклад Lr34, що одночасно підвищує стійкість до кількох груп патогенів [55].

Важливим напрямом є генетичне пірамідування — поєднання кількох генів стійкості в одному генотипі для формування багаторівневого захисту. Комбінації Lr34, Lr68 та Sr2 забезпечують синергічний ефект та підвищують довговічність резистентності [54]. Комплекс Sr2 на хромосомі 3В асоційований із фенотипом «pseudo-black chaff», що може бути маркером стійкості, однак через можливі плейотропні ефекти селекція за цим признаком потребує застосування молекулярних маркерів [56].

Суттєво прискорити створення стійких сортів допомагає молекулярна селекція, яка використовує маркери SNP, SSR, KASP, GBS та інші, дозволяючи точно ідентифікувати гени та кількісні локуси резистентності [57]. У поєднанні з технологією прискореного розмноження (speed breeding), яка забезпечує до шести поколінь на рік, це значно скорочує селекційний цикл та підвищує ефективність інтрогресії цінних алелей у високопродуктивні лінії [58].

Перспективи мають методи геномного редагування. Система CRISPR/Cas9 дає змогу цілеспрямовано вимикати гени сприйнятливості або модифікувати регуляторні ділянки, що забезпечує створення нових стійких форм пшениці [59]. У поліплоїдній пшениці редагування трьох гомеологів забезпечує стабільний ефект. Нокаут TaMLO забезпечив стійкість до борошнистої роси, а модифікація TaMPK1 - до смугастої іржі [59,60]. Редагування гена eIF4E продемонструвало потенціал у створенні стійкості до РНК-вірусів [59].

Серед нетрансгенних підходів виділяють технологію spray-induced gene silencing (SIGS), яка передбачає нанесення РНК-молекул на рослину для тимчасового блокування генів, необхідних для розвитку патогенів. Метод не потребує інтеграції ГМ-елементів у геном, що робить його перспективним у регіонах із жорстким регулюванням ГМО [61].

Загалом сучасні підходи базуються на інтеграції генетичних, молекулярних і біотехнологічних інструментів. Поєднання кількісної стійкості, маркер-асистованої селекції, прискореного розмноження та технологій геномного

редагування створює основу для розроблення високопродуктивних сортів пшениці, здатних ефективно протистояти широкому спектру вірусних і грибкових патогенів, забезпечуючи стабільність урожаю та якість продукції.

### **Висновки до розділу**

Пшениця (*Triticum spp.*) є однією з основних продовольчих культур світу, що займає ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки людства. Україна належить до провідних виробників та експортерів пшениці, займаючись стратегічним місцем на світовому ринку зерна за рахунок поєднання природних ресурсів, родючих чорноземів, сприятливих кліматичних умов та розвиненої аграрної інфраструктури. Висока частка пшениці в структурі аграрного експорту встановлює її вагоме значення не лише для економіки країни, а й для світової продовольчої стабільності.

Разом із тим, ефективність виробництва пшениці істотно обмежується впливом біотичних стресів, серед яких вагоме місце займають вірусні та грибкові хвороби. Вірусні інфекції, зокрема вірус смугастої мозаїки пшениці (WSMV), вірус жовтої карліковості ячменю (BYDV), вірус мозаїки високих рівнин (HPWMoV) і ґрунтовий вірус мозаїки пшениці (SBWMV), поширені у більшості регіонів вирощування та спричиняють значне зниження врожайності - до 80 %. Особливу небезпеку становлять змішані інфекції, які підсилюють патогенний ефект і ускладнюють заходи контролю.

Не меншою вагомою загрозою є також грибкові захворювання, збудниками яких виступають представники родів *Fusarium*, *Alternaria*, *Zymoseptoria*, *Gaeumannomyces*, *Oculimacula* та ін. Вони вражають усі органи рослин, знижують фотосинтетичну активність, знижують якість зерна та можуть привести до накопичення мікотоксинів, небезпечних для людини і тварин.

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ І МАТЕРІАЛИ

### 2.1 Об'єкт досліджень

Дослідження проводили в лабораторії кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики НУБіП України.

Об'єкт дослідження - сорти пшениці Одеська напівкарликова,, Куяльник, Щедрість та Дума з різними рівнями стійкості пшениці.

Польові спостереження та відбір рослин для аналізу проводили на дослідних посівах пшениці (*Triticum spp.*) (рис 2.1) у період активного розвитку хвороб та фоні природних епіфітотій, а саме борошнистої роси (*Blumeria graminis*) листкової іржі (*Puccinia triticina*), жовтої іржі (*Puccinia striiformis*) септоріозу (*Septoria tritici*) та вірусу жовтої карликовості ячменю (ВЖКЯ) у період максимального розвитку хвороб.



Рис 2.1. Посів пшениці на стадії 10-12 листків

### 2.2. Фітопатологічна оцінка рослин

Оцінку дорослих рослин здійснювали за ступенем інтенсивності ураження. Для цього використовували за уніфіковану дев'ятибальну інтегровану шкалу, де 9 балів відповідало дуже високій стійкості - ознаки хвороби відсутні, а 1 бал

характеризував повну сприйнятливість, коли ураження охоплювало майже всю рослину.[62].

### **2.3. Імуноферментний аналіз**

Після оцінки уражених рослин на наявність вірусних симптомів, було проведено аналізування для ідентифікації вірусів жовтої карликовості ячменю (ВЖМЯ) сендвіч методом DAS-ELISA. Для аналізування використовували тест-системи виробництва LOEWE (Німеччина).

Підготовку рослинного матеріалу проводили шляхом гомогенізації зразків листків у співвідношенні 1:20 в екстракційному буфері з рН 7,4. Отриманий гомогенат використовували для подальших етапів аналізу.

На першому етапі проводили адсорбцію антитіл на тверду фазу. Поліклональні антитіла, специфічні до вірусу, розводили в буфері для покриття у співвідношенні 1:1000 та вносили в лунки мікропланшета в об'ємі 200 мкл. Планшет накривали та інкубували при температурі 30°C протягом 4 годин або залишали при 4°C на ніч. Після інкубації лунки тричі промивали відповідним буфером, щоб видалити надлишок незв'язаних антитіл і підготувати поверхню до нанесення антигену

Другий етап передбачав зв'язування вірусного антигену з фіксованими антитілами. У лунку додавали по 200 мкл екстракту зразка пшениці, попередньо гомогенізованого в екстракційному буфері. Планшет щільно закривали плівкою або кришкою та залишали для інкубації при 4°C на ніч, що забезпечувало повне зв'язування антигенів вірусу з антитілами на дні лунок. По завершенні інкубації проводили триразове промивання для видалення надлишкових білкових компонентів, які могли б створити неспецифічне забарвлення

На третьому етапі дії проводили інкубацію з кон'югатом - антитілами, міченим ферментом. Кон'югат розводили в буфері для кон'югату у співвідношенні 1:1000 та додавали по 200 мкл у лунку. Після цього планшет інкубували при температурі 30°C протягом 5 годин, що забезпечувало утворення «сендвічу»: фіксування антитіла - антигену - ферментованого антитіла. Після

завершення інкубації лунки знову промивали тричі промивним буфером для усунення незв'язаних молекул кон'югату.

Завершальним етапом була постановка кольорової реакції. Для цього використовували субстрат п-нітрофенілфосфат (pNPP), який розчиняли в субстратному буфері до концентрації 1 мг/мл. У лунку додавали 200 мкл субстратного розчину і залишали планшет при кімнатній температурі (20-25°C) у темряві. Фермент, зв'язаний з кон'югатом, каталізував реакцію pNPP, внаслідок чого утворювався жовтий продукт. Наявність забарвлення була прямо пропорційною наявності вірусного антигену у зразку.

Під час кожного етапу проводили багаторазове промивання планшета для уникнення перехресного забруднення. Вміст лунок обережно видаляли, після чого планшет висушували, притискаючи його до чистого паперового рушника. Аналіз зразків виконували з використанням позитивних і негативних контролів, що дозволяло оцінити достовірність отриманих результатів.

#### **2.4 Оцінка показників продуктивності та структури врожаю**

Для оцінки впливу вірусного та грибкового ураження на продуктивність пшениці проводили біометричні вимірювання рослин у фазі повної стиглості.

У кожному варіанті обліковували рослин у трьох повторях.

Визначили такі показники:

- а) висоту рослини - від поверхні ґрунту до верхівки колосу (см) (рис. 2.2.);
- б) довжину колосу - від його основи до зерна яке саме вище(см);
- в) кількість зерен у колосі - шляхом ручного підрахунку;
- г) маса 1000 зерен - за допомогою аналітичних терезів, відповідно до методики ДСТУ 4138:2002 «Насіння сільськогосподарських культур» [63]. Від насіння відбирали по вісім повторів по 100 насінин, які зважували до двох десяткових знаків після коми. Маса 1000 насінин обчислювали множенням середньоарифметичної маси 100 шт на 10.



Рис. 2.2. Приклад вимірювання довжини рослин

Отримані дані використовували для розрахунку середніх значень і порівняння показників рослин з різним ступенем ураження.

### 2.5 Визначення біологічної урожайності

Біологічну урожайність пшениці визначали за структурними елементами врожаю відповідно до методики [64].

У розрахунках використовували загальноприйнятую формулу визначення потенційної урожайності за структурою врожаю:

$$Y = a \times b \times c \times d / 10^8 \quad (2.1)$$

де  $a$  – кількість рослин на одиниці площі, рослин/га,

$b$  – продуктивна куцистість,

$c$  – число зерен в колосі,

$d$  – маса 1000 зерен, г [64].

## **2.6 Методи статистичної обробки даних**

Обробка результатів здійснювалася з використанням програмного пакету ANOVA в MS Excel.

### **Висновки до розділу**

У розділі представлено набір методів, які дали змогу оцінити ступінь ураження пшениці вірусними та грибковими хворобами, а також визначити їхній вплив на продуктивність рослин. Фітопатологічну оцінку проводили за дев'ятибальною шкалою, що дозволило порівняти стійкість різних досліджуваних сортів. Для точної діагностики вірусу жовтої карликовості ячменю використовували метод DAS-ELISA зі стандартизованими тест-системами. Продуктивність оцінювали на основі біометричних показників. Біологічну урожайність визначали шляхом аналізу структурних елементів врожаю згідно з загальновизнаною методикою. Для статистичної обробки отриманих даних застосовували метод ANOVA, що забезпечило їхню достовірність.

Застосовані підходи надали можливість здійснити всебічну оцінку фітопатологічного стану рослин та їх продуктивності в умовах природного інфекційного середовища.

## РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Фітопатологічна оцінка сортів пшениці за природного інфекційного фону

Фітопатологічну оцінку сортів пшениці проведено на фоні природного інфекційного навантаження. За результатами польових спостережень виявлено істотну різницю між сортами за рівнем ураження основними збудниками хвороб - борошнистою росою (*Blumeria graminis f. sp. tritici*), листковою та жовтою іржею (*Puccinia triticina*, *P. striiformis*), септоріозом (*Septoria tritici*) та вірусом жовтої карликовості ячменю (ВЖКЯ).

Рівень ураження за дев'ятибальною шкалою наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

#### Ступінь ураження рослин

Сорт	Борошниста роса	Листкова іржа	Жовта іржа	Септоріоз	ВЖКЯ	Підсумкова оцінка
Одеська напівкарликова	3	2	2	1	2	Сильно сприятливий
Щедрість	6	5	5	6	6	Помірна стійкість
Куяльник	4	3	5	3	4	Помірно-висока стійкість
Дума	7	5	4	5	5	Висока стійкість

Як контроль використовували сорт Одеська напівкарликова, що характеризується високою сприйнятливістю до поширених збудників хвороб. (рис 3.1). Застосування сприйнятливої контролю дозволило чітко окреслити відмінності між толерантними та чутливими сортами й підвищити об'єктивність порівняльного аналізу. Контрольний сорт отримав найнижчі оцінки (1-3 бали), що свідчить про сильну сприйнятливість до комплексу збудників, зокрема до

септоріозу та ВЖКЯ (рис.3.2) Подібний підхід широко використовується у фітопатологічних дослідженнях для створення контрастного фону між генотипами з різним рівнем стійкості [65, 66].



Рис. 3.1. Рослини, які демонструють високу сприйнятливість до хвороб

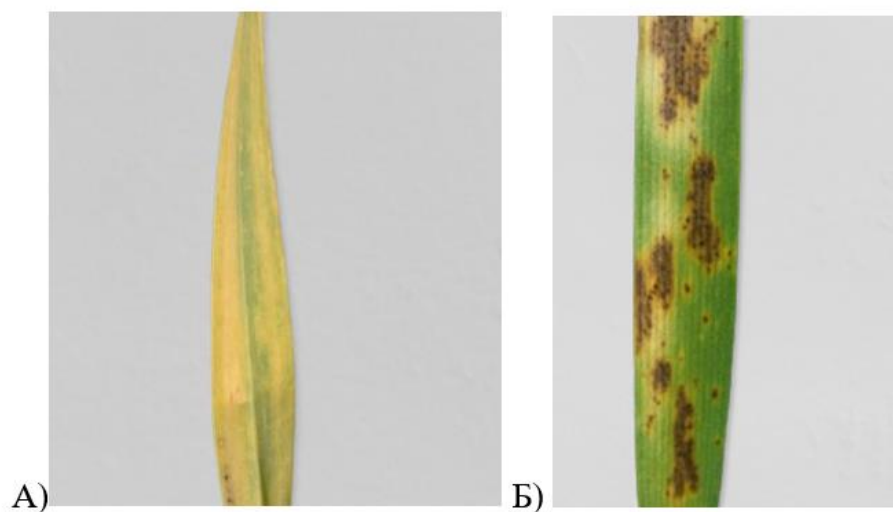


Рис. 3.2. Симптоми ураження А) ВЖКЯ та Б) септоріозу

Сорт Куяльник продемонстрував помірну стійкість до грибкових інфекцій та часткову толерантність до вірусного ураження. У польових умовах спостерігалось незначне пожовтіння листків і скорочення міжвузлів, що є типовими проявами ураження вірусом жовтої карликовості ячменю. За середнім балом близько 3,8 сорт можна віднести до групи з помірною резистентністю. Отримані дані узгоджуються з результатами досліджень, проведених Поповим та співавт. [67], які вказують на подібні прояви вірусної інфекції у пшениці.

Сорт Щедрість характеризувався помірно-високим рівнем стійкості до комплексу хвороб. Розвиток борошнистої роси, іржі та септоріозу був незначним, симптоми ВЖКЯ проявлялися слабо (рис 3.3). Середній бал стійкості становив понад 5,5, що вказує на ефективну дію полігенних механізмів неспецифічної резистентності, пов'язаної з активацією загальних захисних реакцій рослинного організму, зокрема синтезу антиоксидантних ферментів і фітоалексинів [68].



Рис 3.3. Рівень ураження борошнистою росною

Сорт Дума виявив високу стійкість до борошнистої роси та листової іржі (6–7 балів), що свідчить про наявність ефективних генів вертикальної резистентності. Водночас ураження септоріозом і ВЖКЯ було помірним (близько 5 балів) (рис 3.4.). Загальна оцінка сорту становила 5,2 бала, що дозволяє класифікувати його як відносно стійкий.



Рис 3.4. Рослини сорту Дума з помірним рівнем стійкості

Виявлені відмінності підтверджують, що ефективність імунної реакції пшениці формується внаслідок поєднання вертикальної (генетично детермінованої) і горизонтальної (полігенної) стійкості. За даними даних авторів [65, 68] саме такий тип поєднаної резистентності забезпечує довготривалий захист від широкого спектра патогенів, що є ключовим чинником підвищення адаптивності сортів у мінливих умовах середовища.

### **3.2. Ідентифікація вірусних патогенів методом ІФА**

Імуноферментний аналіз (ІФА) проводили за методом DAS-ELISA, який ґрунтується на взаємодії специфічних антитіл із вірусними антигенами у

досліджуваному зразку. Для аналізу використовували набори реагентів, специфічні до вірусів пшениці, зокрема до вірусу жовтої карликовості ячменю (ВЖКЯ).

У результаті виявлено вірус жовтої карликовості ячменю (ВЖКЯ) у більшості сортів, окрім Щедрості, де оптична густина не перевищувала порогове значення контролю (рис 3.5.).

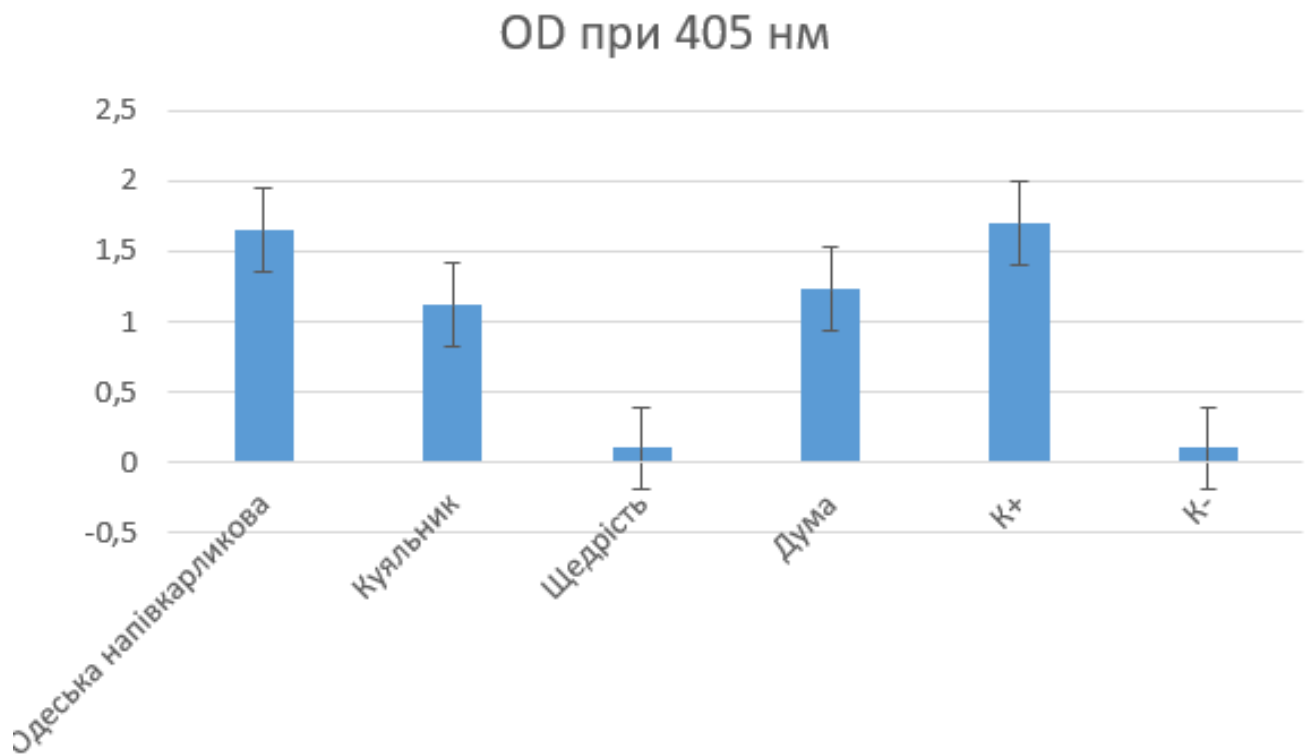


Рис. 3.5. Результати вимірювання оптичної щільності зразків при 405 нм методом ІФА

Сорт Одеська напівкарликова характеризувався найвищим вірусним навантаженням та найбільшою часткою позитивних зразків - 76,7 %, що підтверджує його високу сприйнятливість до ВЖКЯ [66]. У сорту Куяльник кількість позитивних зразків становила 53,3 %, що свідчить про помірне ураження.

У сорту Дума вірус виявлено лише у 36,7 % зразків, що свідчить про низьке вірусне навантаження і часткову толерантність. Найвищу стійкість виявлено у сорту Щедрість, де вірус не виявлено жодного разу. Це свідчить про ефективні механізми антивірусної резистентності, пов'язані з пригніченням реплікації

вірусу на ранніх етапах інфекції або обмеженням його поширення у тканинах [66,68].

Отримані результати підтверджують тісний зв'язок між даними серологічного аналізу та фітопатологічною оцінкою. Сорти Щедрість і Дума проявляють вищу толерантність до ВЖКЯ, тоді як Куяльник і Одеська напівкарликова залишаються сприйнятливими. Це вказує на наявність у стійких сортів комплексних механізмів резистентності, які поєднують генетичні та фізіолого-біохімічні фактори захисту [66,68].

### 3.3. Біометричні показники та структура урожаю

Проведений аналіз біометричних параметрів показав, що ступінь ураження грибними хворобами та вірусом жовтої карликовості ячменю (ВЖКЯ) істотно вплинув на ростові та продуктивні ознаки пшениці. Ураження патогенами призводило до зменшення висоти рослин, скорочення колосу та зниження маси зерна (рис. 3.4.), що узгоджується з даними літератури про негативний вплив біотичних стресів на морфогенез і фотосинтетичну активність рослин [65, 67].



Рис 3.6. Порівняння зерен пшениці: верхній ряд - повноцінні зерна; нижній ряд - дрібні, недорозвинені або уражені зерна.

Найнижчі значення біометричних показників зафіксовано у сприйнятливої контролю - сорту Одеська напівкарликова, тоді як найвищі - у сорту Дума. Проміжні результати отримано у сортів Куяльник і Щедрість, що свідчить про часткову толерантність до комплексу патогенів і ефективніші механізми компенсації стресу. Результати продемонстровано у таблиці 3.2

Таблиця 3.2.

### Біометричні показники сортів пшениці

Показник	Одеська напівкарликова	Куяльник	Щедрість	Дума
Висота рослин, см	78,1±3,6	88,2±3,1	81,8±4,7	89,5±3,1
Довжина колосу, см	8,2±0,2	9,6±0,3	9,2±0,2	10,1±0,6
Кількість зерен у колосі, шт	28,6±1,3	33,5±0,7	32,6±1,2	35,7±1,2
Маса 1000 зерен, г	37,6	38,6	39,3	40,7

Встановлено, що середня висота рослин у сорту Дума перевищувала контроль на 11,4 см, а довжина колосу - на 1,9 см (рис 3.7.).

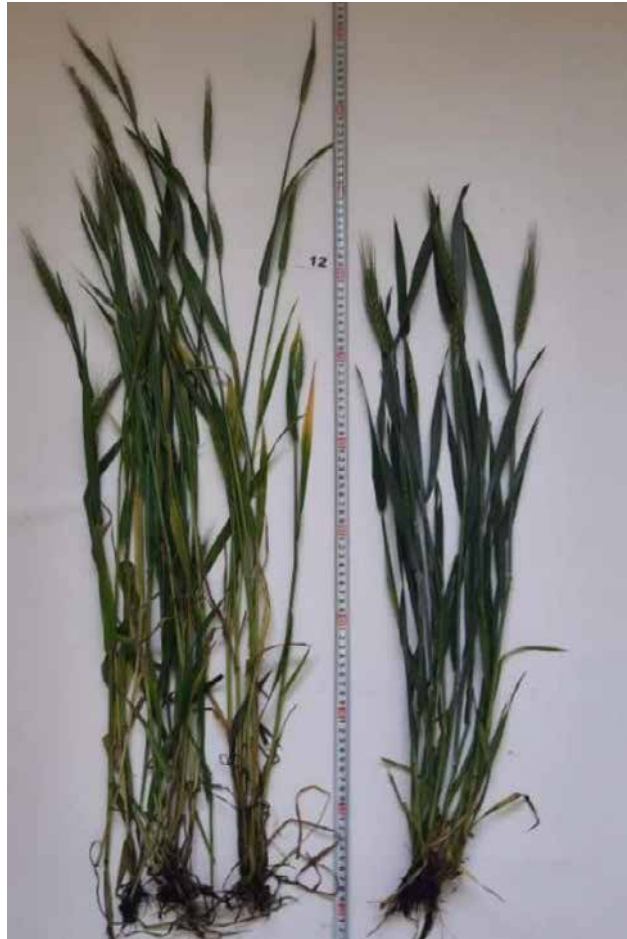


Рис. 3.7. Порівняння висоти рослин сорту Дума (зліва) з контролем (справа)

Це свідчить про кращий ріст і розвиток генеративних органів за умов обмеженого впливу патогенів. У сорту Щедрість, незважаючи на відсутність позитивної реакції на ВЖКЯ, висота та довжина колосу були дещо нижчими, ніж у Думи, однак значно перевищували показники Одеської напівкарликової

Кількість зерен у колосі варіювала від 28,6 у контролю до 35,7 у сорту Дума, що вказує на збереження репродуктивного потенціалу у стійких сортів за умов природного інфекційного фону. Аналогічну закономірність відзначають Singh та співавт. [66], які вказують, що у толерантних генотипів зменшення площі листової поверхні компенсується посиленням фотосинтетичної активності залишкових асиміляційних тканин.

Маса 1000 зерен (МТЗ) (рис. 3.8.) є одним із ключових показників продуктивності. У проведених дослідженнях найнижче значення МТЗ зафіксовано у сорту Одеська напівкарликова, що пояснюється передчасним

старінням листків і порушенням транспорту асимілятів унаслідок вірусного ураження. У сорту Дума цей показник становив 40,7 г, а у Щедроті - 39,3 г, що свідчить про вищу виповненість зерна та ефективніше використання асиміляційних ресурсів.



Рис. 3.8. Підрахунок маси 1000 насінин

Таким чином, між рівнем ураження патогенами та продуктивними ознаками спостерігається зворотна залежність: чим нижча інтенсивність ураження, тим вищі біометричні та урожайні показники. Отримані дані узгоджуються з результатами інших авторів [67, 68], які вказують, що поєднання генетичної стійкості з фізіолого-біохімічними механізмами адаптації забезпечує збереження асиміляційної поверхні, стабільність фотосинтезу та формування повноцінного врожаю навіть за умов інфекційного навантаження.

Отже, за комплексом біометричних показників найвищу адаптивність і продуктивність продемонстрував сорт Дума, який поєднує високу стійкість до вірусних і грибкових патогенів із потужним ростовим потенціалом. Найнижчі

показники отримано у сорту Одеська напівкарликова, що підтверджує його сприйнятливість та низьку толерантність до комплексу хвороб.

### 3.4. Біологічна урожайність сортів пшениці

Біологічна урожайність досліджуваних сортів пшениці істотно варіювала залежно від рівня ураження грибними та вірусними хворобами. Найнижчі показники встановлено у сприйнятливого сорту Одеська напівкарликова, тоді як сорти Куяльник та Щедрість забезпечили найвищу врожайність серед дослідних варіантів (таблиця 3.3.).

Таблиця 3.3.

#### Результати біологічної врожайності сортів

Сорт	Біологічна врожайність, ц/га
Одеська напівкарликова (ОНК)	48,4
Куяльник	56,2
Щедрість	57,7
Дума	52,2

Найнижча врожайність спостерігалася у сорту Одеська напівкарликова, що відповідає його високій сприйнятливості до борошнистої роси, іржастих хвороб, септоріозу та ВЖКЯ (рис 3.9).



Рис.3.9 Біологічна врожайність

Сорти Куяльник і Щедрість забезпечили підвищений рівень врожайності, що зумовлено кращим збереженням основних структурних елементів продуктивності. Особливо вирізнявся сорт Щедрість, у якого за результатами імуноферментного аналізу ВЖКЯ не було виявлено, що сприяло формуванню найбільшої біологічної врожайності серед дослідних сортів.

Попри те, що сорт Дума демонстрував найкращі біометричні показники (висоту рослин, довжину колосу, кількість зерен та масу 1000 зерен), його біологічна урожайність виявилася нижчою, ніж у сортів Щедрість і Куяльник. Така невідповідність пояснюється наявністю помірного рівня вірусного навантаження (ВЖКЯ), зафіксованого методом ІФА. Вірусне ураження зменшило виповненість зерна та ефективність транспорту асимілятів у період наливу, що призвело до зниження сумарного продуктивного потенціалу. Отже, незважаючи на високий морфометричний розвиток, показники врожайності сорту Дума були обмежені саме вірусним фактором, який вплинув на якість сформованого зерна.

Таким чином, встановлено, що зменшення інфекційного навантаження та підвищена стійкість до грибних і вірусних патогенів є ключовими чинниками

формування більш високої біологічної врожайності пшениці. Сприйнятливий сорт Одеська напівкарликова підтвердив роль контрольного варіанта, демонструючи мінімальні показники врожайного потенціалу.

## ВИСНОВКИ

Отже, у ході дослідження проведено комплексну оцінку стійкості сортів пшениці до основних вірусних та грибкових хвороб за природного інфекційного фону та встановлено їх вплив на продуктивність і біологічну врожайність рослин. На основі отриманих результатів сформульовано такі висновки:

1. Фітопатологічна оцінка показала значну диференціацію сортів за рівнем ураження патогенами. Найбільш сприйнятливим сортом була Одеська напівкарликова, яка уражувалася комплексом грибних інфекцій та вірусом жовтої карликовості ячменю. Найвищу стійкість продемонстрували сорти Щедрість і Дума, що засвідчує наявність у них ефективних механізмів вертикальної та полігенної резистентності.
2. Результати ІФА підтвердили наявність ВЖКЯ у трьох сортів. Найвищий рівень вірусного навантаження зафіксовано у сорту Одеська напівкарликова (76,7 % позитивних проб), у сорту Куяльник – помірний рівень інфекції (53,3 %), тоді як сорт Щедрість виявив повну відсутність вірусу, що свідчить про наявність ефективних антивірусних механізмів.
3. Біометричні показники чітко корелювали з рівнем ураження. Сорт Одеська напівкарликова мав найнижчі значення висоти рослин, довжини колосу, кількості зерен та маси 1000 зерен. Найвищі показники зафіксовані у сорту Дума, тоді як Щедрість та Куяльник займали проміжне положення, демонструючи часткову толерантність до патогенів.
4. Біологічна урожайність була найбільшою у сортів Куяльник і Щедрість. Сорт Щедрість сформував максимальний потенціал урожайності завдяки відсутності вірусного ураження та помірній грибковій резистентності. Найнижча урожайність встановлена у сорту Одеська напівкарликова, що підтверджує його роль як сприйнятливого контролю.
5. Встановлено прямий взаємозв'язок між рівнем стійкості та продуктивністю. Зменшення інфекційного навантаження сприяло кращому збереженню асиміляційної поверхні, стабільності фотосинтезу та формуванню

виповненого зерна. Сорти з вищою резистентністю забезпечили вищі показники врожайності та кращу структуру врожаю.

6. Сорт Щедрість визначено як найбільш перспективний для вирощування у зонах ризику вірусних інфекцій, тоді як сорт Дума є оптимальним для умов підвищеного грибкового навантаження завдяки поєднанню стійкості та високих біометричних характеристик.
7. Загалом дослідження підтвердило, що формування продуктивності пшениці значною мірою залежить від рівня імунної резистентності до вірусних та грибкових патогенів. Високостійкі сорти забезпечують стабільну врожайність навіть за умов природного інфекційного фону, що підкреслює необхідність їх широкого впровадження у виробництво та селекційні програми.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. FAO. FAOSTAT [Електронний ресурс]. – Рим, 2023. – Режим доступу: <https://www.fao.org/faostat/> (дата звернення: 31.11.2024).
2. The global burden of pathogens and pests on major food crops / S. Savary et al. *Nature ecology & evolution*. 2019. Vol. 3, no. 3. P. 430–439. URL: <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y> (date of access: 31.11.2024).
3. Міністерство аграрної політики та продовольства України. URL: <https://minagro.gov.ua/> (дата звернення: 31.11.2024)
4. The impact of Russia-Ukraine conflict on global food security / F. Lin et al. *Global food security*. 2023. Vol. 36. P. 100661. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100661> (date of access: 06.12.2024).
5. Halkin V. The role of ukraine in ensuring global food security: current challenges and prospects. *Grassroots journal of natural resources*. 2024. Vol. 7, no. 3. P. s396–s419. URL: <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.0703ukr20> (date of access: 06.12.2024).
6. Mottaleb K. A., Kruseman G., Snapp S. Potential impacts of Ukraine-Russia armed conflict on global wheat food security: a quantitative exploration. *Global food security*. 2022. Vol. 35. P. 100659. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100659> (date of access: 08.12.2024).
7. From Economic Recovery to Global Food Security: The Urgent Need to Demine Ukraine. *Tony Blair Institute for Global Change (TBI)*. URL: <https://institute.global/insights/geopolitics-and-security/the-urgent-need-to-demine-ukraine> (date of access: 06.12.2024).
8. Teixeira da Silva J., Koblianska I., Kucher A. Agricultural production in Ukraine: An insight into the impact of the Russo-Ukrainian war on local, regional and global food security. *Journal of agricultural sciences, belgrade*.

2023. Vol. 68, no. 2. P. 121–140.  
URL: <https://doi.org/10.2298/jas2302121t> (date of access: 06.12.2024).
9. Viral challenges in wheat: comprehensive diagnosis and innovative management approaches / Tanu et al. *Current microbiology*. 2025. Vol. 82, no. 7. URL: <https://doi.org/10.1007/s00284-025-04280-4> (date of access: 26.01.2025).
  10. Wheat streak mosaic virus: transmission, its impact, and crop protection strategies—a systematic review / N. Hasan et al. *Journal of plant diseases and protection*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1007/s41348-024-01012-x> (date of access: 26.01.2025).
  11. Walls J., Rajotte E., Rosa C. The past, present, and future of barley yellow dwarf management. *Agriculture*. 2019. Vol. 9, no. 1. P. 23. URL: <https://doi.org/10.3390/agriculture9010023> (date of access: 27.01.2025).
  12. Tatineni S., Hein G. L. High Plains wheat mosaic virus: An enigmatic disease of wheat and corn causing the High Plains disease. *Molecular plant pathology*. 2021. Vol. 22, no. 10. P. 1167–1179. URL: <https://doi.org/10.1111/mpp.13113> (date of access: 27.01.2025).
  13. Snihur H, Pozhylov I, Budzanivska I, Shevchenko O (2020) First report of High Plains wheat mosaic virus on different hosts in Ukraine. *Journal of Plant Pathology* 102, 545–546. <https://doi.org/10.1007/s42161-019-00435-y> (date of access: 27.01.2025).
  14. Nutrients and soil structure influence furovirus infection of wheat / K. Gauthier et al. *Frontiers in plant science*. 2023. Vol. 14. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1200674> (date of access: 03.02.2025).
  15. Occurrence and characterization of wheat streak mosaic virus found in mono- and mixed infection with high plains wheat mosaic virus in winter wheat in ukraine / I. Pozhylov et al. *Viruses*. 2022. Vol. 14, no. 6. P. 1220. URL: <https://doi.org/10.3390/v14061220> (date of access: 03.02.2025).

16. Kapoor, P Viral Diseases of Wheat: Research Progress and Future Perspectives // *New Horizons in Wheat and Barley Research* / ред. P. L. Kashyap та ін. – Singapore: Springer, 2022. – P. 143–165. – DOI: 10.1007/978-981-16-4134-3\_8
17. Li D., Song X., Yang F. Global distribution, evolutionary dynamics, and origins of wheat streak mosaic virus. *Frontiers in plant science*. 2025. Vol. 16. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1611008> (date of access: 05.02.2025).
18. Mishchenko, L., Dunich, A., Mishchenko, I.A., Petrenkova, V.P., & Mukha, T.I. Monitoring of economically important wheat viruses under weather conditions change in Ukraine and investigation of seed transmission of *Wheat streak mosaic virus*. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2018, 24(4), P. 660–669.
19. Asymmetric interactions between barley yellow dwarf virus -PAV and wheat dwarf virus in wheat / T. Armand et al. *Frontiers in plant science*. 2023. Vol. 14. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1194622> (date of access: 03.02.2025).
20. Occurrence and characterization of wheat streak mosaic virus found in mono- and mixed infection with high plains wheat mosaic virus in winter wheat in ukraine / I. Pozhylov et al. *Viruses*. 2022. Vol. 14, no. 6. P. 1220. URL: <https://doi.org/10.3390/v14061220> (date of access: 05.02.2025).
21. Tripartite interactions of barley yellow dwarf virus, sitobion avenae and wheat varieties / X.-F. Liu et al. *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9, no. 9. P. e106639. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106639> (date of access: 05.02.2025).
22. Kriuchkova LO. Micromycetes associated with wheat diseases in different regions of Ukraine. *Mikrobiol Z*. 2013 Jul-Aug;75(4):59-68. PMID: 24006786.
23. Hidden in plain sight: a molecular field survey of three wheat leaf blotch fungal diseases in North-Western Europe shows co-infection is widespread /

- A. F. Justesen et al. *European journal of plant pathology*. 2021. Vol. 160, no. 4. P. 949–962. URL: <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02298-5> (date of access: 05.02.2025).
24. Alisaac E., Mahlein A.-K. Fusarium head blight on wheat: biology, modern detection and diagnosis and integrated disease management. *Toxins*. 2023. Vol. 15, no. 3. P. 192. URL: <https://doi.org/10.3390/toxins15030192> (date of access: 05.02.2025).
  25. Fungal root, leaf, and stem diseases of wheat | crop science US. *Innovations for Modern Farming | Crop Science US*. URL: <https://www.cropscience.bayer.us/articles/bayer/fungal-root-leaf-and-stem-diseases-of-wheat> (date of access: 09.02.2025).
  26. Stripe rust effector pst\_9302 inhibits wheat immunity to promote susceptibility / H. Zhao et al. *Plants*. 2023. Vol. 13, no. 1. P. 94. URL: <https://doi.org/10.3390/plants13010094> (date of access: 09.02.2025).
  27. Ranf S. Pattern recognition receptors—versatile genetic tools for engineering broad-spectrum disease resistance in crops. *Agronomy*. 2018. Vol. 8, no. 8. P. 134. URL: <https://doi.org/10.3390/agronomy8080134> (date of access: 09.02.2025).
  28. PTI-ETI synergistic signal mechanisms in plant immunity / X. Yu et al. *Plant biotechnology journal*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1111/pbi.14332> (date of access: 09.02.2025).
  29. NLR receptors in plant immunity: making sense of the alphabet soup / M. P. Contreras et al. *EMBO reports*. 2023. URL: <https://doi.org/10.15252/embr.202357495> (date of access: 09.02.2025).
  30. Balint-Kurti P. The plant hypersensitive response: concepts, control and consequences. *Molecular plant pathology*. 2019. URL: <https://doi.org/10.1111/mpp.12821> (09.02.2025).
  31. The underexplored mechanisms of wheat resistance to leaf rust / J. Mapuranga et al. *Plants*. 2023. Vol. 12, no. 23. P. 3996. URL: <https://doi.org/10.3390/plants12233996> (date of access: 09.02.2025).

32. Effectors from wheat rust fungi suppress multiple plant defense responses / S. R. Ramachandran et al. *Phytopathology*®. 2017. Vol. 107, no. 1. P. 75–83. URL: <https://doi.org/10.1094/phyto-02-16-0083-r> (date of access: 16.02.2025).
33. Identification of powdery mildew resistance loci in wheat by integrating genome-wide association study (GWAS) and linkage mapping / G. Li et al. *The Crop Journal*. 2019. Vol. 7, no. 3. P. 294–306. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.01.005> (date of access: 16.02.2025).
34. Characterization of the resistance to powdery mildew and leaf rust carried by the bread wheat cultivar victo / F. Desiderio et al. *International journal of molecular sciences*. 2021. Vol. 22, no. 6. P. 3109. URL: <https://doi.org/10.3390/ijms22063109> (date of access: 16.02.2025).
35. Вчені виявили гени, що забезпечують стійкість пшениці до борошнистої роси. *Журнал Агроном*. URL: <https://www.agronom.com.ua/vcheni-vyavyly-geny-shho-zabezpechuyut-stijkist-pshenytsi-do-boroshnystoyi-rosy/> (дата звернення: 16.02.2025).
36. Harnessing genetic resistance to rusts in wheat and integrated rust management methods to develop more durable resistant cultivars / J. Mapuranga et al. *Frontiers in plant science*. 2022. Vol. 13. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.951095> (date of access: 22.02.2025).
37. An overview of genetic rust resistance: from broad to specific mechanisms / S. Periyannan et al. *PLOS pathogens*. 2017. Vol. 13, no. 7. P. e1006380. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006380> (date of access: 22.02.2025).
38. Identification of leaf rust resistance genes Lr34 and Lr46 in common wheat (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*) lines of different origin using multiplex PCR / A. Tomkowiak et al. *Open life sciences*. 2021. Vol. 16, no. 1. P. 172–183. URL: <https://doi.org/10.1515/biol-2021-0018> (date of access: 22.02.2025).

39. RNAi technology for plant protection and its application in wheat / S. Liu et al. *ABIOTECH*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1007/s42994-021-00036-3> (date of access: 22.02.2025).
40. Gaffar F. Y., Koch A. Catch me if you can! RNA silencing-based improvement of antiviral plant immunity. *Viruses*. 2019. Vol. 11, no. 7. P. 673. URL: <https://doi.org/10.3390/v11070673> (date of access: 22.02.2025)
41. Gautam, S., & Gadhave, K. R. Impact of Wheat Resistance Genes on Wheat Curl Mite Fitness and Wheat Streak Mosaic Dynamics Under Single and Mixed Infections. *Viruses*, 2025. 17(7), 1010. URL: <https://doi.org/10.3390/v17071010> (date of access: 22.02.2025).
42. Temperature-Dependent wsm1 and wsm2 gene-specific blockage of viral long-distance transport provides resistance to wheat streak mosaic virus and triticum mosaic virus in wheat / S. Tatineni et al. *Molecular Plant-Microbe Interactions®*. 2016. Vol. 29, no. 9. P. 724–738. URL: <https://doi.org/10.1094/mpmi-06-16-0110-r> (date of access: 28.02.2025).
43. Seed Transmission of Wheat Streak Mosaic Virus and Triticum Mosaic Virus in Differentially Resistant Wheat Cultivars / S. Gautam et al. *Viruses*. 2023. Vol. 15, no. 8. P. 1774. URL: <https://doi.org/10.3390/v15081774> (date of access: 28.02.2025).
44. Growth–Defense tradeoffs in plants: a balancing act to optimize fitness / B. Huot et al. *Molecular plant*. 2014. Vol. 7, no. 8. P. 1267–1287. URL: <https://doi.org/10.1093/mp/ssu049> (date of access: 28.02.2025).
45. Ning Y., Liu W., Wang G.-L. Balancing immunity and yield in crop plants. *Trends in plant science*. 2017. Vol. 22, no. 12. P. 1069–1079. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.09.010> (date of access: 28.02.2025).
46. Growth–Defense tradeoffs in plants: a balancing act to optimize fitness / B. Huot et al. *Molecular plant*. 2014. Vol. 7, no. 8. P. 1267–1287. URL: <https://doi.org/10.1093/mp/ssu049> (date of access: 28.02.2025).

47. Mechanisms to mitigate the trade-off between growth and defense / T. L. Karasov et al. *The plant cell*. 2017. Vol. 29, no. 4. P. 666–680. URL: <https://doi.org/10.1105/tpc.16.00931> (date of access: 05.03.2025).
48. Bolton M. D. Primary metabolism and plant defense–fuel for the fire. *Molecular Plant-Microbe Interactions*®. 2009. Vol. 22, no. 5. P. 487–497. URL: <https://doi.org/10.1094/mpmi-22-5-0487> (date of access: 05.03.2025).
49. Cooper, I. & Glass, N. L. Genetic control of tolerance and resistance in plant–pathogen interactions. *Annual Review of Phytopathology*, 2019, 57, 505–529. DOI: 10.1146/annurev-phyto-082718-100000
50. Buerstmayr M., Steiner B., Buerstmayr H. Breeding for Fusarium head blight resistance in wheat–Progress and challenges. *Plant Breeding*. 2019. Vol. 139, no. 3. P. 429–454. URL: <https://doi.org/10.1111/pbr.12797> (date of access: 05.03.2025).
51. Bilgin D. D., Zavala J. A., Zhu J., Clough S. J., Ort D. R., DeLucia E. H. Biotic stress globally downregulates photosynthesis genes. *Plant, Cell & Environment*, 2010, vol. 33(10), p. 1597–1613. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2010.02167.x.
52. Lu H., Greenberg J. T., Holuigue L. Editorial: Systemic acquired resistance. *Frontiers in Plant Science*, 2016, vol. 7, p. 2016. DOI: 10.3389/fpls.2016.02016.
53. Genetic analysis of rust resistance genes in global wheat cultivars: an overview / M. Aktar-Uz-Zaman et al. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2017. Vol. 31, no. 3. P. 431–445. URL: <https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1304180> (date of access: 05.03.2025).
54. Effects and interactions of genes Lr34, Lr68 and Sr2 on wheat leaf rust adult plant resistance in Uruguay / P. Silva et al. *Euphytica*. 2015. Vol. 204, no. 3. P. 599–608. URL: <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1343-6> (date of access: 05.03.2025).

55. Variations in exons 11 and 12 of the multi-pest resistance wheat gene Lr34 are independently additive for leaf rust resistance / S. Cloutier et al. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 13. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1061490> (date of access: 05.03.2025).
56. Genetic Information - Non Molecular Markers - Rust Resistance - Integrated Breeding Platform. *Integrated Breeding Platform - Plant breeding software*. URL: <https://www.integratedbreeding.net/748/breeding-services/predictive-markers/genetic-information-non-molecular-markers-rust-resistance> (date of access: 07.03.2025).
57. Molecular Markers and Their Applications in Marker-Assisted Selection (MAS) in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) / L. Song et al. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, no. 3. P. 642. URL: <https://doi.org/10.3390/agriculture13030642> (date of access: 07.03.2025).
58. Synergizing breeding strategies via combining speed breeding, phenotypic selection, and marker-assisted backcrossing for the introgression of Glu-B1i in wheat / J.-K. Cha et al. *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1402709> (date of access: 07.03.2025).
59. CRISPR-mediated genome editing of wheat for enhancing disease resistance / J. Waites et al. *Frontiers in Genome Editing*. 2025. Vol. 7. URL: <https://doi.org/10.3389/fgeed.2025.1542487> (date of access: 07.03.2025).
60. Genome-edited powdery mildew resistance in wheat without growth penalties / S. Li et al. *Nature*. 2022. Vol. 602, no. 7897. P. 455–460. URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04395-9> (date of access: 07.03.2025).
61. Akbar S., Wei Y., Zhang M.-Q. RNA Interference: Promising Approach to Combat Plant Viruses. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022.

- Vol. 23, no. 10. P. 5312. URL: <https://doi.org/10.3390/ijms23105312> (date of access: 07.03.2025).
62. Бабаянц О. В. Основи селекції і методологія оцінки стійкості пшениці до збудників хвороб. Одеса: ВМВ, 2014. 401 с.
  63. 4138:2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. На заміну ГОСТ 12036-85\*, ГОСТ 12037-81\*, ГОСТ 12038-84\*, ГОСТ 12039-82\*, ГОСТ 12041-82\*, ГОСТ 12042-80\*, ГОСТ 12044-81\*, ГОСТ 12045-81\*, ГОСТ 12046-85\*, ГОСТ 12047-85\*, (\* - в частині насіння зернових, зернобобових, олійних, технічних, овочевих, баштанних, кормових культур медоносних трав) ; чинний від 28.12.2002. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 17–18 с
  64. Авраменко, Раїса Андріївна. "РА Авраменко, ГВ Кірсанова. Визначення біологічного врожаю основних сільсько-господарських культур: Навчальний посібник/Дніпропетр. держ. агр. ун-т.–Дніпропет-ровськ, 2004.– 84с. Дана оцінка факторів середовища, які впливають на розвиток рослин і формування біологічного і господарського врожаїв. Особлива увага приділяється методам визначення."
  65. Niks, R. E., Marcel, T. C. Nonhost and basal resistance: how to explain specificity? // *New Phytologist*. 2009. Vol. 182, No. 4. P. 817–828. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.02849.x.
  66. Singh, R. P., et al. Disease resistance breeding in wheat: achievements and prospects // *International Journal of Plant Genomics*. 2016. Article ID 5436872. DOI: 10.1155/2016/5436872.
  67. Попов М. Л., Петренкова В. П., Шевченко О. В. Virus diseases of wheat and barley in Ukraine: current situation and control strategy // *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021.Т. 11, № 1.С. 268–275. DOI: 10.15421/2021\_39.
  68. Wang, X., Chen, X., Zhang, Y. Advances in molecular breeding for durable disease resistance in wheat // *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. - Article 572618. DOI: 10.3389/fpls.2020.572618.

## ДОДАТКИ

Додаток А

Публікація тез. IV Всеукраїнської науково-практичної конференції  
здобувачів вищої освіти, присвяченій 127-річчю НУБіП України  
«Досягнення і перспективи в захисті та карантині рослин»

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ



ФАКУЛЬТЕТ ЗАХИСТУ РОСЛИН, БІОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОЛОГІЇ

### ДОСЯГНЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ В ЗАХИСТІ ТА КАРАНТИНІ РОСЛИН

*Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції  
здобувачів вищої освіти, присвяченій 127-річчю НУБіП України*

*(13 травня 2025 р.)*



**Київ-2025**

## Зміст

## СЕКЦІЯ: I. ЕНТОМОЛОГІЯ

<i>Герасименко М.С., Кава Л.П.</i> ВИДОВИЙ СКЛАД ШКІДНИКІВ ПЛОДІВ СЛИВИ ТА ЇХ БІОЛОГІЯ.....	12
<i>Дорошнов А.Р., Кава Л.П.</i> ВНУТРІШНЬСТЕБЛОВІ ШКІДНИКИ СМОРОДИНИ.....	13
<i>Кукса С.О., Доля М.М.</i> РОЗМНОЖЕННЯ ЛУЧНОГО МЕТЕЛИКА У КОРОТКОРОТАЦІЙНИХ СІВОЗМІНАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ.....	15
<i>Кучер Т.Р., Кава Л.П.</i> МУРАХИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ БІОЛОГІЇ.....	17
<i>Леонтівська К.С., Кава Л.П.</i> ВИВЧЕННЯ БІОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРЕДСТАВНИКІВ РЯДУ БОГОМОЛИ – МАНТОРТЕРА.....	19
<i>Ломача П., Кава Л.П.</i> ВИДОВИЙ СКЛАД ГРУНТОВИХ ШКІДНИКІВ НА ПОСІВАХ КУКУРУДЗИ В УМОВАХ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	21
<i>Погиба В.О., Кукса С.О., Доля М.М.</i> ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЕНТОМОКОМПЛЕКСІВ ПОЛЬОВИХ КУЛЬТУР ЗА РЕСУРСООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ.....	23
<i>Саган Д.О., Статкевич О.І.</i> МОНИТОРИНГ ВИДОВОЇ РІЗНОМАНІТНОСТІ ЕНТОМОФАГІВ НА НЕКТАРОНОСНИХ РОСЛИНАХ.....	25
<i>Сокирко Н.О., Кава Л.П.</i> ВИВЧЕННЯ БІОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДОМІНАНТНИХ ШКІДНИКІВ СУНИЦІ.....	28
<i>Троши С.Р., Кава Л.П.</i> ПІДГРИЗАЮЧІ СОВКИ НА ПОСІВАХ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ, ЇХ БІОЛОГІЯ ТА ШКІДЛИВІСТЬ.....	29
<i>Фрідריך В.А. Кава Л.П.</i> ВИВЧЕННЯ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДИНИ КОКЦИНЕЛЛІДИ.....	31
<i>Цап Б.В., Кава Л.П.</i> ФІТОФАГИ У ПОСІВАХ ГОРОХУ ОЗИМОГО ТА ЇХ ШКІДЛИВІСТЬ.....	32
<i>Ковальчук Я.А., Статкевич О.І.</i> ДОМІНУЮЧІ ВИДИ КОМАХ-ФІТОФАГІВ У ПОСІВАХ ЧАСНИКУ.....	34

## СЕКЦІЯ: II. ФІТОПАТОЛОГІЯ

<i>Басок О. Л., Гентош Д. Т.</i> МОНИТОРИНГ ІРЖІ ГРУШІ.....	37
<i>Бельскіте Я.Е., Піковський М.Й.</i> ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ БОРОШНИСТОЇ РОСИ ТРОЯНД У ВІДКРИТОМУ ГРУНТІ.....	38
<i>Богунівська Л.В., Баица О.В.</i> ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ПУХИРЧАТОЇ САЖКИ КУКУРУДЗИ.....	40
<i>Бузира В. В., Ключевич М. М.</i> МІКОФЛОРА ЗЕРНА СПЕЛЬТИ В АГРОПІДПРИЄМСТВАХ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	42
<i>Голубов С.С., Патица М.В.</i> ФУЗАРІОЗ ТОМАТІВ: ПАТОЛОГІЧНІ ПРОЯВИ, ДІАГНОСТИКА ТА МЕТОДИ КОНТРОЛЮ.....	44
<i>Гольцбергер Й. І., Піковський М. Й.</i> ХВОРОБИ НАСІННЯ РІПАКУ ОЗИМОГО.....	46
<i>Єрко В.В., Гентош Д. Т.</i> МОНИТОРИНГ ІРЖІ ЯЧМЕНЮ.....	48
<i>Карась А. О., Гентош Д.Т.</i> ПОШИРЕННЯ ХВОРОБ ЧАСНИКУ ГОРОДНЬОГО ( <i>ALLIUM SATIVUM</i> L.) В МЕЖАХ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	50
<i>Климчук А.І., Даценко А.В.</i> ВІРУСНІ ТА ГРИБНІ ХВОРОБИ ПШЕНИЦІ В УКРАЇНІ ТА МЕХАНІЗМИ ВПЛИВУ ІМУНІТЕТУ НА ЗДОРОВ'Я РОСЛИН.....	52
<i>Коваленко В. О., Баица О. В.</i> ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ ХВОРОБ ФУНДУКА.....	54
<i>Литвиненко С. А., Даценко А. В.</i> МОНИТОРИНГ ГРИБКОВИХ ЗАХВОРЮВАНЬ ЛИСТЯ ТА ПЛОДІВ <i>QUERCUS ROBUR</i> МЕТОДОМ ПЛР В МЕЖАХ МІСТА КІЄВА.....	56
<i>Никитенко С.М., Гентош Д.Т.</i> ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ КОРЕНЕВОЇ ГНИЛІ ВИКИ ЯРОЇ.....	58
<i>Оврамець А. В., Гентош Д.Т.</i> ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ БОРОШНИСТОЇ РОСИ ЧОРНОЇ СМОРОДИНИ.....	60
<i>Пакленко К. О., Баица О. В.</i> ФУЗАРІОЗ СОЇ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЇХ ЗБУДНИКІВ.....	61
<i>Паклюк В. Р., Гентош Д. Т.</i> ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ КОРЕНЕВИХ ГНИЛЕЙ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО.....	63
<i>Пастух Т.П., Піковський М.Й.</i> МІКОФЛОРА НАСІННЯ СОЇ.....	65
<i>Спиридонова С.В., Баица О.В.</i> ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ГРИБНИХ ХВОРОБ МОРКВИ ТА ЗАХОДИ ЩОДО ОБМЕЖЕННЯ ЇХ ЧИСЕЛЬНОСТІ.....	67
<i>Чепчак М. О., Піковський М. Й.</i> ДИНАМІКА РОЗВИТКУ БІЛОЇ ГНИЛІ СОНЯШНИКУ.....	68

УДК 632.3:633.11:581.9

## ВІРУСНІ ТА ГРИБНІ ХВОРОБИ ПШЕНИЦІ В УКРАЇНІ ТА МЕХАНІЗМИ ВПЛИВУ ІМУНІТЕТУ НА ЗДОРОВ'Я РОСЛИН

Климчук А.І., студентка 1 року магістратури

Науковий керівник: Дащенко А.В., канд. с.-г. наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Пшениця є однією з основних продовольчих культур в Україні, яка забезпечує значну частину як внутрішнього, так і зовнішнього ринку зерна. Проте врожайність культури щороку знижується під впливом широкого спектру фітопатогенів, особливо вірусного та грибного походження. Ці хвороби не лише знижують кількісні показники врожаю, але й погіршують його якість [1, 2].

Серед найбільш поширених грибних хвороб в Україні виділяють бурю іржу (*Puccinia triticina*), борошнисту росу (*Blumeria graminis*), септоріоз листя (*Zymoseptoria tritici*) та фузаріоз колосу (*Fusarium spp.*) [2]. Ці захворювання здатні викликати втрати врожаю на рівні 15–40 % залежно від року, сорту та умов вирощування.

Вірусні хвороби, такі як жовта карликовість ячменю (BYDV), мозаїка пшениці (WSMV) та смугаста мозаїка (HPWMoV), менш поширені, але можуть викликати катастрофічні втрати за умов масового поширення векторів – тлей, цикадок, кліщів [3, 4]. Особливістю вірусних інфекцій є порушення процесів фотосинтезу, розвитку кореневої системи та загальне пригнічення росту, що унеможливорює формування повноцінного колосу.

Формування імунітету пшениці до патогенів базується на двох основних механізмах: системній набутій резистентності (SAR) та індукованій системній резистентності (ISR). Під час активації цих механізмів відбувається інтенсивне продукування ферментів антиоксидантного захисту (пероксидаз, каталази), фітоалексинів, PR-білків, які гальмують розвиток патогенів [1, 5]. Значну роль також відіграє селекція на стійкість, зокрема, використання генів стійкості [2].

Для ефективного контролю фітопатогенів актуальним є впровадження інтегрованих систем захисту, які поєднують фітосанітарний моніторинг, біологічні методи захисту (триходерма, бацилус, псевдомонади), еліситори природного походження, сівозміну та агротехнічні заходи [4, 5]. Такі системи дозволяють зменшити пестицидне навантаження на довкілля та зберегти стабільну врожайність культури.

Таким чином, вірусні та грибні хвороби залишаються однією з ключових загроз пшениці в Україні. Поглиблене розуміння імунної відповіді рослини та використання біологічних засобів захисту в поєднанні з сучасними методами моніторингу створює нові можливості для ефективного управління фітопатогенними ризиками.

Список використаних джерел:

1. Горелов В.М., Мельник Л.М. *Фітопатологія з основами захисту рослин*. – К.: Аграрна освіта, 2021.

Публікація тез. XI Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Екологія – філософія існування людства»



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ФАКУЛЬТЕТ ЗАХИСТУ РОСЛИН, БІОТЕХНОЛОГІЙ  
І ЕКОЛОГІЇ

## **ЗБІРНИК**

матеріалів доповідей

**XI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ СТУДЕНТІВ, АСПІРАНТІВ  
І МОЛОДИХ ВЧЕНИХ**



**«ЕКОЛОГІЯ – ФІЛОСОФІЯ ІСНУВАННЯ  
ЛЮДСТВА»**

**23-24 квітня 2025 р.**

**Київ – 2025**

<i>Климчук А.І., Даценко А.В.</i> <b>ВІРУСНІ ТА ГРИБНІ ХВОРОБИ ПШЕНИЦІ В УКРАЇНІ ТА МЕХАНІЗМИ ВПЛИВУ ІМУНІТЕТУ</b> .....	63
<i>Кобилецький Я.О., Міняйло А.А., Дмитренко Л.А.</i> <b>ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТОВОГО ПОКРИВУ ЗА ВОЄННОГО ВПЛИВУ ПРИ РУЙНУВАННІ НАФТОПЕРЕРОБНИХ ЗАВОДІВ (НА ПРИКЛАДІ М. КРЕМЕНЧУК)</b> .....	65
<i>Коваль М.В., Бережняк С.М.</i> <b>РОЗВИТОК АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УМАНІ ТА МІСЦЕВИХ ГРОМАДАХ</b> .....	67
<i>Ковтонюк Я.І., Таран О.П.</i> <b>РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ ПРЕПАРАТІВ <i>POTATO M CARLAVIRUS</i> ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ІМУНОФЕРМЕНТНОМУ АНАЛІЗІ</b> .....	68
<i>Корнілевська С.І., Кваско О.Ю.</i> <b>ФУНГІЦИДНІ ВЛАСТИВОСТІ БАКТЕРІЙ <i>BACILLUS SPP.</i></b> .....	70
<i>Корсунський О.В., Субін О.В.</i> <b>ВВЕДЕННЯ <i>MYRTUS COMMUNIS</i> В АСЕПТИЧНУ КУЛЬТУРУ</b> .....	72
<i>Косман А.С., Даценко А.В.</i> <b>АКТИВНІСТЬ КАТАЛАЗИ ТА ВМІСТ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ У ПІВОНІЯХ</b> .....	73
<i>Кравець Г.С., Клепко А.В.</i> <b>РАДІАЦІЙНА БЕЗПЕКА УРАНОВИДОБУВНОЇ ТА УРАНОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ</b> .....	75
<i>Кравченко І., Ладика М.М.</i> <b>КЛІМАТИЧНІ РЕАЛІЇ СЬОГОДЕННЯ ТА ЇХ ВПЛИВ НА УКРАЇНУ І СВІТ</b> .....	78
<i>Крохан Я.Р., Ракоїд О.О.</i> <b>ВПЛИВ БОЙОВИХ ДІЙ НА ГРУНТИ: ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ТА ЗАГРОЗИ ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ</b> .....	80
<i>Кругла А. М., Субін О.В.</i> <b>ОСОБЛИВОСТІ ВВЕДЕННЯ <i>MUSA VELUTINA</i> В КУЛЬТУРУ <i>IN VITRO.</i></b> .....	82
<i>Кудашкін Г.В., Герасимов О.І.</i> <b>МОДЕЛЮВАННЯ КОМПЗИТНИХ СТРУКТУР ЯК БАГАТОЧАСТИНКОВИХ ДИСКРЕТНИХ ПОЛІДИСПЕРСНИХ КОНГЛОМЕРАЦІЙ</b> .....	84
<i>Ладика М.М., Билим О.О.</i> <b>АНТРОПОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА БАСЕЙН РІЧКИ ОСТЕР</b> .....	86
<i>Латик В.</i> <b>ВИКОРИСТАННЯ СВЕЙЛІВ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ</b> .....	88
<i>Лелюшок С.В., Наумовська О.І., Молдаван Л.П.</i> <b>БІОТЕСТУВАННЯ ГРУНТУ АГРОЕКОСИСТЕМ ЗА ВПЛИВУ НЕСАНКЦІОНОВАНИХ СМІТТСЗВАЛИЩ</b> .....	89

УДК 632.4:633.11(477)

**ВІРУСНІ ТА ГРИБНІ ХВОРОБИ ПШЕНИЦІ В УКРАЇНІ ТА МЕХАНІЗМИ ВПЛИВУ ІМУНІТЕТУ**

*Климчук А.І.*, магістр I року навчання, факультету захисту рослин, біотехнологій та екології

*Дацишко А.В.*, кандидат с.-г. наук, доцент кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Пшениця (*Triticum aestivum* L.) є однією з найважливіших продовольчих культур України, що забезпечує стратегічну стабільність агропромислового комплексу та продовольчу безпеку країни. Проте її врожайність і якість значною мірою залежать від фітосанітарного стану посівів. Особливе занепокоєння викликає поширення вірусних і грибових хвороб, які завдають суттєвих економічних збитків та становлять загрозу екологічній рівновазі агроєкосистем [1].

Серед вірусних захворювань найбільшої шкоди завдає вірус жовтої карликовості ячменю (BYDV), який передається попелицями, а також вірус мозаїки пшениці (WMV) [2]. З-поміж грибових захворювань найбільш розповсюдженими в Україні є борошниста роса (*Blumeria graminis*), бура, жовта та стеблова іржа (*Puccinia* spp.), септоріоз (*Zygomycetaria tritici*), фузаріоз колосу (*Fusarium graminearum*) [3]. Вони призводять до зменшення асиміляційної поверхні листків, порушення метаболізму та значного зниження врожайності, особливо в період колосіння та наливу зерна [4].

Успішна боротьба з хворобами пшениці можлива завдяки формуванню стійких сортів з потужними імунними властивостями. Основу природного імунітету складають як неспецифічні (базова резистентність), так і специфічні (опосередковані генами R) механізми захисту. Одним із ключових напрямів досліджень є оцінка активності ферментів антиоксидантної системи — каталази, пероксидази та супероксидадисмутази — як маркерів стійкості до біотичних стресів [5]. Підвищена активність цих ферментів сприяє детоксикації активних форм кисню, які накопичуються в тканинах у відповідь на інфекцію [6].

У контексті екологічної безпеки особливе значення має зменшення хімічного навантаження на довкілля. Надмірне застосування фунгіцидів призводить до забруднення ґрунтів, водних ресурсів та зниження біорізноманіття, включаючи ентомофауну та ґрунтові мікроорганізми [7]. Альтернативою є екологічно безпечні підходи: впровадження стійких сортів, використання біопрепаратів, агротехнічних методів профілактики (сівозміна, глибока оранка, своєчасне внесення добрив), а також регулярний фітосанітарний моніторинг [1, 3].

Моніторинг захворювань дозволяє не лише вчасно виявити загрози, але й оцінити ефективність агротехнічних заходів, мінімізувати використання пестицидів і зберегти природну рівновагу агроєкосистем. Підтримка сортового біорізноманіття як на локальному, так і на регіональному рівнях є критично важливою для забезпечення адаптивності агроєкосистем до змін клімату та поширення нових штамів патогенів [4, 6].

Таким чином, вивчення впливу імунітету пшениці на стійкість до вірусних і грибових захворювань є важливим елементом екологічного землеробства. Інтеграція біотехнологічних, селекційних і екологічних підходів сприятиме збереженню високої врожайності та мінімізації екологічних ризиків.

**Список використаних джерел**

1. Демидов С.М., Гончарова І.Л., Лазаренко Ю.В. Фітосанітарний стан посівів