

ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ *TRITICUM AESTIVUM* L. ЩОДО СТІЙКОСТІ ПРОТИ *TILLETIA CARIES* TUL.

Н. М. Хорошко, Л. А. Мурашко

Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН, вул. Центральна, 68, с. Центральне, Обухівський район, Київська область, 08853, Україна

Актуальність. Однією з найбільш поширених та шкодочинних хвороб пшениці озимої є тверда сажка. Тому вирошування нових високопродуктивних сортів сільськогосподарських культур з високою стійкістю проти даної хвороби є одним з провідних факторів підвищення стабільності та ефективності сільськогосподарського виробництва. **Мета досліджень** – Оцінити та охарактеризувати інтенсивність ураження *Tilletia caries* (DC.) Tul. сортів пшениці м'якої озимої на штучному інфекційному фоні патогенна та виділити стійкі генотипи. **Матеріали і методи.** За матеріал дослідження обрали 32 сорти пшениці м'якої озимої різних установ України. Інокулом збудника твердої сажки збирали з різних, за стійкістю проти патогенна, сортів, які вирошували на дослідних ділянках лабораторії. Стійкість сортів пшениці озимої вивчали на штучному інфекційному фоні твердої сажки в польових умовах. У лабораторних умовах посівний матеріал заспорювали хламідоспорами популяції збудника *Tilletia caries* і з розрахунку 1 г спор на 100 г зерна. Використовували методи: лабораторний, польовий, статистичного аналізу. Облік інтенсивності ураження хворобою рослин проводили у фазі молочно-воскової стиглості пшениці, застосовуючи метод, що ґрунтується на підрахунку кількості здорових і хворих колосків. **Результати.** За дворічними даними (2023 і 2024 рр.) кращими, за стійкістю проти збудника *Tilletia caries*, були сорти пшениці м'якої озимої відповідно за роками: Нива одеська – з інтенсивністю ураження (1,3 %, 3,0 %), Зорепад (2,1 %, 1,2 %), Вагома (2,9 %, 0,0 %), Зиск (3,2 %, 0,0 %), Покровська (6,3 %, 0,0 %), Гейзер (4,0 %, 4,2 %). Стабільністю інтенсивності ураження патогеном *Tilletia caries* впродовж років досліджень характеризувалися сорти Гейзер ($R = 0,2$ %), Відповідь одеська ($R = 0,4$ %), уразливий сорт Polka ($R = 0,6$ %), Гладь, Зорепад ($R = 0,9$ %), Основа одеська ($R = 1,5$ %), Журавка одеська ($R = 1,6$ %), Нива одеська ($R = 1,7$ %), Понтійка, Вірність ($R = 2,0$ %), Кантата одеська ($R = 2,5$ %). За результатами досліджень нами було виявлено різну реакцію генотипів, з числа сортів *Triticum aestivum* L. на зміну гідротермічних умов у різні роки вирошування (екоградієнт). **Висновки.** Оцінено та охарактеризовано стійкість щодо ураження твердою сажкою 32 сортів пшениці м'якої озимої. Встановлено що 28 % сортів мали високий рівень стійкості до патогену. У сортів Вагома, Зиск, Зорепад, Нива одеська, Журавка одеська, Покровська, Кантата одеська, Гейзер, Ліра одеська відсоток ураження становив менше 5 % і вони визначені, як стійкі до ураження твердою сажкою.

Ключові слова: збудник, штучний інфекційний фон, пшениця озима, сорт, тверда сажка, інтенсивність ураження

Вступ. Зернові культури мають важливе значення у харчуванні людини, тому що забезпечують 40–75 % загального споживання вуглеводів і білка. Пшениця (*Triticum aestivum* L.) – це зернова культура, яка посідає основне місце серед сільськогосподарських рослин, які вирошують в Україні та експортують за кордон, вона задовольняє високі калорійні та харчові потреби людей за допомогою різноманітних продуктів, починаючи від хліба, кондитерських та макаронних виробів, десертів та інших [1, 2]. Вона є ключо-

вою продовольчою культурою, від якої залежить глобальна продовольча безпека. Попри високі обсяги виробництва, забезпечити стабільну якість і кількість зерна стає дедалі складніше через кліматичні ризики, деградацію ґрунтів і поширення хвороб [3].

Один з найбезпечніших засобів захисту сільськогосподарських культур проти хвороб із точки зору екології, з перевагами ресурсозбереження, окупності, екологічності та технологічності є вирошування у виробництві стійких сортів пшениці. Вони мають стати

Інформація про авторів:

Хорошко Неля Миколаївна, аспірантка, молодший науковий співробітник лаб. якості зерна, e-mail: horoshko.nelly@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0663-1968> +380687868531

Мурашко Людмила Анатоліївна, науковий співробітник лаб. селекції озимої пшениці, e-mail: murashko_liudmyla@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0438-7682>

провідною ланкою в системі захисту рослин від хвороб [4, 5].

Підвищення стійкості зернових культур у господарстві можливе при освоєнні зональних систем землеробства, які забезпечують раціональне використання виробничих ресурсів і біокліматичного потенціалу певного регіону [6, 7]. Рослини пшениці озимої уражуються багатьма патогенами від сівби і до збирання, це викликає на зниження величини урожаю та його якості. Збудниками хвороб зернових є здебільшого гриби, бактерії та віруси. Вони передаються через ґрунт, насіннєвий матеріал та рослинні рештки, які залишаються на полях після попередньої культури. Однією з найбільш поширених та шкодочинних хвороб пшениці озимої є тверда сажка (*Tilletia caries* Tul.) [8, 9].

Завдяки біотичним і абіотичним факторам довкілля та *Tilletia caries* пшениці знижується урожайність зерна. Патоген впливає на врожайність і його якість зерна, замінюючи тканину його спорами гриба (теліоспорами) і створює характерний неприємний запах через триметиламін. Теліоспори являється основним джерелом інфекції, яка вражає зерно, і може залишатися в ґрунті тривалий час. Розуміння епідеміології захворювання та ідентифікація збудника за допомогою класичних методів і сучасних геномних інструментів може допомогти в боротьбі із захворюванням [10]. Дослідження за стійкістю щодо хвороб включає скринінг зародкової плазми; інтрогресію генів від диких предків; ідентифікацію та розгортання ефективних генів стійкості, а саме *Ut1-Ut11* (для летючої сажки), *Bt1-Bt21* (звичайна сажка / карликова сажка) тощо; та ідентифікацію основних QTL, які можуть бути використані у відборі за допомогою маркерів. Сертифіковане насіння та інтегрована практика боротьби з хворобами в поєднанні з покращеною генетичною стійкістю можуть допомогти знизити ризики, пов'язані з твердою сажкою [11].

Рід базидіоміцетів *Tilletia* (Tilletiales, Exobasidiomycetes, Ustilaginomycotina) включає близько 186 описаних видів, що викликають сажкову хворобу. Види *Tilletia* є біотрофами, які не розвивають спеціалізованих клітинних інфекційних структур, але створюють так звані локальні зони взаємодії в тканинах господаря. Термін «сажка» вико-

ристовується для видів *Tilletia*, що заражають зернові культури, які утворюють теліоспори в зав'язі рослини-господаря. Інфікування зернових культур видами сажки залишається безсимптомним аж до початку подовження стебла. Заражене насіння непридатне для споживання людиною та тваринами. Тверда та карликова сажка впливають на виробництво пшениці в Центральній Європі, де вони перебувають під фітосанітарним регулюванням для сертифікації насіння в органічному та традиційному землеробстві [12, 13].

Однак останніми роками хвороба також поширилася на низинні регіони Німеччини. *Tilletia controversa* Kuehn. є економічно важливим збудником для міжнародної торгівлі насінням, оскільки вона є карантинним патогеном у кількох країнах [14, 15].

Tilletia caries Tul., *Tilletia controversa* Kuehn. і *Tilletia laevis* Kuehn. відрізняються кількома біологічними та фізіологічними особливостями. По-перше, морфологія теліоспор змінюється від гладкої у *Tilletia laevis* до глибокої та розширеної сітки у *Tilletia controversa* і проміжної форми у *T. caries*. По-друге, теліоспори *Tilletia caries* і *Tilletia laevis* проростають продовж семи діб за температури від +12 до +15 °C при освітленні або в темряві, тоді як для проростання теліоспор *Tilletia controversa* потрібно до 60 діб за оптимальної температури від +3 до +5 °C, а світло є важливим фактором для проростання. Крім того, зараження пшениці патогенними мікроорганізмами твердої сажки відбувається до появи колеоптиле, тоді як *Tilletia controversa* уражує колеоптиле після його появи. Симптоми захворювання у твердої (*Tilletia caries*) і карликової сажки пшениці (*Tilletia controversa*) помітно відрізняються. Значна затримка росту пшениці та посилене куціння відбуваються при ураженні карликовою сажкою, і його рівень різний, залежно від сорту пшениці, тоді як затримку у розвитку пшениці, яка уражена твердою сажкою, важко відрізнити. Тому серед фахівців існує тривога стосовно розповсюдження твердої та карликової сажки, як основної загрози, і, особливо, для органічного виробництва пшениці через обмежену кількість високостійких сортів [16, 17]. Варто звернути увагу також на той факт, що *Tilletia controversa* є карантинним патогеном, який мало дослід-

жений на генетичному рівні. Автори повідомляють про генетичні зразки, виділені з чотирьох ізолятів *Tilletia caries*, п'яти ізолятів *Tilletia controversa* та двох ізолятів *Tilletia laevis*, отриманих з окремих культур теліоспор, які, за винятком одного ізоляту *Tilletia laevis*, походять із недавніх європейських популяцій. Ізоляти були відібрані з колекції зразків твердої та карликової сажки, які характеризувалися морфологічними характеристиками та поведінкою проростання теліоспор, а пізніше, за допомогою MALDI-TOF MS [18].

Наукові дослідження з генами стійкості пшениці щодо хвороб, спричинених грибними патогенами, є активною сферою досліджень у всьому світі. Ці дослідження також потрібні для сортів, що вирощуються в Україні. Просто виявлення факту стійкості певного сорту не є достатнім обґрунтуванням для його використання у селекційному процесі, як джерела генів стійкості. Тому на сьогоднішній день існує велика потреба у вивченні генетичних основ стійкості вітчизняних сортів до хвороб, а це може бути досягнуто шляхом застосування сучасних методів молекулярної генетики [19, 20]. Оцінка стійкості пшениці озимої до грибних захворювань у реальних польових умовах є ключовим етапом при відборі рослин для включення в селекційний процес з метою отримання стійких форм до основних грибних фітозахворювань [21]. У програмах селекції пшениці бракує джерел, донорів стійких форм проти хвороб колосу. Селекціонери продовжують їхній пошук та дослідження механізмів стійкості, які контролюють резистентність та характер їх успадкування.

Мета досліджень – пошук ефективних джерел стійкості за використання штучного інфекційного фону *Tilletia caries* Tul. в умовах центральної частини Лісостепу України.

Матеріали та методи. Дослідження проводили у 2023, 2024 рр. в умовах штучної інокуляції збудником хвороби у лабораторних і польових інфекційних розсадниках лабораторії селекції пшениці озимої Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН. На інфекційному фоні *Tilletia caries* (твердої сажки) досліджували інтенсивність ураження у двох повтореннях 32 сортів пшениці м'якої озимої різних установ

України: чотири сорти пшениці м'якої озимої селекції Інституту фізіології рослин і генетики (ІФРГ) та Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла (МІП) – Подільянка, Експромт, Колумбія, Золотоколоса; три сорти селекції МІП – МІП Княжна, МІП Ювілейна, Аврора Миронівська; 24 сорти пшениці м'якої озимої сильної та надсильної за якістю зерна, селекції Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннізнавства та сортовивчення (СГНЦНС) – Оптима одеська, Досконалість одеська, Покровська, Спадщина одеська, Версія одеська, Манера одеська, Перевага, Понтійка, Відповідь одеська, Вірність, Гейзер, Основа одеська, Перемога одеська, Гладь, Журавка одеська, Зиск, Зорепад, Нива одеська, Кантата одеська, Куяльник, Мудрість одеська, Кубок, Ліра одеська, Вагома та високосприйнятливий (індикатор) щодо збудника *Tilletia caries* сорт Polka угорської селекції.

Інокулюм збудника твердої сажки збирали з різних за стійкістю проти патогена сортів, що вирощували на дослідних ділянках лабораторії. Стійкість сортів пшениці озимої вивчали на штучному інфекційному фоні твердої сажки в польових умовах. У лабораторних умовах посівний матеріал заспорювали хламідоспорами популяції збудника *Tilletia caries* із розрахунку 1 г спор на 100 г зерна. Насіння з наважкою хламідоспор поміщали у скляну ємність, закривали кришкою та струшували 2–3 хвилини. Заспоре́не зерно висипали у посівний пакет. Сівбу проводили у пізні строки – перша декада жовтня. Зерно висівали на глибину 7–8 см, за температури ґрунту 8–10 °С. Мілка глибина його загортання часто не впливала на бажані результати, оскільки для збудника *Tilletia caries* потрібний тривалий період контакту хламідоспор із колеоптиле. Для контролю вдального зараження і розвитку збудника хвороби одночасно із заспоре́ним матеріалом висівали сорт пшениці який є індикатором сприйнятливості до даного збудника. Облік інтенсивності ураження хворобою рослин проводили у фазі молочно-воскової стиглості пшениці, використовуючи метод, що ґрунтується на підрахунку кількості здорових і хворих колосків [22, 23].

Результати та обговорення. Агротеоретичні умови, за яких проходила веге-

тація пшениці м'якої озимої та дослідження стійкості сортів щодо ураження твердою сажкою, різнилися за роками досліджень і не завжди були сприятливими для рослин та розвитку патогену. Перезимівля пшениці озимої проходила задовільно.

Так, у 2022 р. опади, які спостерігали у першій декаді жовтня, сприяли подальшому поповненню запасів вологи у ґрунті, створюючи оптимальні умови для росту рослин пшениці на початкових етапах розвитку. Перше припинення вегетації рослин було відмічено 15 листопада за середньодобової температури повітря $+4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ із наступним поступовим її зниженням з $+3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. У другій та третій декадах листопада спостерігали рясні опади, які спричинили перезволоження ґрунту. Абсолютні мінімуми температури повітря відмітили 11 січня 2023 р. – $-10,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ та 9 лютого 2023 р. – $-11,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ з температурою на глибині залягання вузла куштиння $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Відновлення вегетації рослин пшениці у 2023 р. відмітили 21 березня за середньодобової температури повітря $+9,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ з наступним поступовим її підвищенням: $10,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (22. 03); $12,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (23. 03); $15,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (24. 03). У квітні та травні середня температура повітря була нижчою за середній багаторічний показник на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідно, а у червні перевищувала його на $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. У квітні відмічали надмірне вологозабезпечення, перевищення кількості опадів від середньо багаторічної становило $40,0\text{ мм}$.

У 2023 р. висівали пшеницю восени за посушливих умов. Так, сума опадів за серпень і вересень становила $4,8$ і $7,8\text{ мм}$, що відповідно на $46,7$ і $47,5\text{ мм}$ менше за середній багаторічний показник. Температура повітря із серпня по листопад перевищувала середні багаторічні значення на $1,9$ – $3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Рясні опади, які відмічали впродовж жовтня, листопада, сприяли значному поповненню запасів вологи у ґрунті, створюючи оптимальні умови для росту рослин озимих культур на початкових етапах розвитку. Перше припинення вегетації рослин озимини у 2023 р. відмічено 16 листопада за середньодобової температури повітря $+4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ із наступним поступовим її зниженням. Абсолютні мінімуми температури повітря зафіксовано 09 січня 2024 р. – $-17,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ із температурою на глибині залягання вузла куштиння $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Максимальна висо-

та снігового покриву була в межах 5 – 7 см . Відновлення вегетації рослин пшениці у 2024 р. спостерігали 21 березня за середньодобової температури повітря $+5,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ із наступним поступовим її підвищенням: $+6,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (22. 03); $+8,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (23. 03). У квітні середня температура повітря була на $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ вище за середній багаторічний показник, у травні – майже на рівні, а в червні та липні – перевищувала його на $2,0$ та $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідно. За сумою опадів у березні та квітні відмічали надмірне вологозабезпечення – перевищення від багаторічних показників становило $51,3$ і $24,6\text{ мм}$ відповідно. Однак, у травні спостерігали досить гострий дефіцит опадів – лише $5,8\text{ мм}$ за середніх багаторічних показників – $50,2\text{ мм}$. Стійкість проти збудників хвороб обмежена у часі, тому необхідно проводити постійний пошук ефективних джерел стійкості з урахуванням штучного інфекційного фону патогена для залучення кращих до створення нових сортів вітчизняної селекції. Вони мають стати провідною ланкою в системі захисту рослин від хвороб.

Вихідний матеріал пшениці м'якої озимої, різний за показниками якості зерна, щодо інтенсивності ураження *Tilletia caries* нами розділений згідно шкали стійкості до патогена за кількістю уражених колосів, від їх загальної кількості, %: 0 – 5% – дуже висока стійкість; 6 – 10% – висока стійкість; 11 – 15% – стійкість; 16 – 30% – слабка сприйнятливості; 31 – 40% – сприйнятливості; 41 – 100% – висока сприйнятливості.

За дослідженнями в умовах 2023 р. на штучному інфекційному фоні *Tilletia caries* дуже високу стійкість (0 – 5%) виявлено у $34,4\%$ сортів: Нива одеська, Зорепад, Оптим одеська, Кантата одеська, Вагома, Зиск, Журавка одеська, Гейзер, Досконалість одеська, Перемога одеська та Манера одеська. Високою стійкістю (6 – 10%) проти твердої сажки характеризувалися $34,4\%$ сортів; – стійкістю (11 – 15%) – $15,6\%$. Слабку сприйнятливості (16 – 30%) визначено у $9,4\%$ сортів пшениці, високу сприйнятливості – у $6,2\%$. У наших дослідженнях інтенсивність ураження збудником *Tilletia caries* була у межах від $1,3$ до $53,9\%$, середнє (X) значення складало $11,0\%$, різниця $52,6\%$ між максимальним значенням ознаки і мінімальними ($R = \max - \min$, розмах варіювання) характе-

ризував реакцію генотипу на патоген у році досліджень (табл. 1).

В умовах 2024 р. дуже високу стійкість до збудника *Tilletia caries* мали у десяти сортів – Покровська, Зиск, Вагома та Куяльник (0 %), Зорепад (1,2 %), Журавка одеська (2,0 %), Нива одеська (3,0 %), Ліра одеська (3,4 %) та ін. Висока стійкість була у 15,6 % сортів (Кантата одеська (5,2 %), Відповідь одеська, Кубок (5,7 %), Мудрість одеська (8,1 %) та Основа одеська 8,4 %); стійкістю проти патогена характеризувалися 9,4 % сор-

тів (Перемога одеська, Понтійка, Перевага 10,7 %, 10,8 %, 14,8 % відповідно). У дослідженнях даного року інтенсивність ураження патогеном *Tilletia caries* змінювалося від 0,0 до 53,3 %, середнє (X) значення склало 15,5 %, розмах (R) варіювання становив 53,3 % між максимальним значенням ознаки і мінімальним характеризував реакцію конкретних генотипів на штучну інокуляцію збудником.

У досліді на штучному фоні за дворічними даними аналізу рослин пшениці озимої

Таблиця 1. Інтенсивність ураження і статистичні показники сортів пшениці озимої збудником *Tilletia caries* Tul., (2023, 2024 рр.)

Сорт	Інтенсивність ураження, %		X*	± до уразливого сорту	Статистичні показники, %	
	роки				R**	V***
	2023	2024				
1	2	3	4	5	6	7
Polka– уразливий сорт	53,9	53,3	53,6	–	0,6	0,8
Подольнка – стандарт	45,0	36,0	40,5	–13,1	9,0	15,7
МПП Княжна	23,5	36,2	29,9	–23,8	12,7	30,1
МПП Ювілейна	29,5	46,7	38,1	–15,5	17,2	31,9
Аврора Миронівська	9,8	31,4	20,6	–33,0	21,6	74,1
Золотоколоса	9,0	23,5	16,3	–37,4	14,5	63,1
Експромт	10,4	16,7	13,6	–40,1	6,3	32,9
Колумбія	9,9	36,2	23,1	–30,6	26,3	80,7
Покровська	6,3	0,0	3,2	–50,5	6,3	14,1
Зорепад	2,1	1,2	1,7	–52,0	0,9	38,6
Оптима одеська	2,6	30,9	16,8	–36,9	28,3	119,5
Зиск	3,2	0,0	1,6	–52,0	3,2	14,1
Гладь	5,7	4,8	5,3	–48,4	0,9	12,1
Кубок	11,4	5,7	8,6	–45,1	5,7	47,1
Ліра одеська	6,6	3,4	5,0	–48,6	3,2	45,3
Досконалість одеська	4,2	21,1	12,7	–41,0	16,9	94,5
Основа одеська	9,9	8,4	9,2	–44,5	1,5	11,6
Гейзер	4,0	4,2	4,1	–49,5	0,2	3,4
Вагома	2,9	0,0	1,5	–52,2	2,9	14,1
Кантата одеська	2,7	5,2	4,0	–49,7	2,5	44,8
Нива одеська	1,3	3,0	2,2	–51,5	1,7	55,9
Спадщина одеська	6,8	19,4	13,1	–40,5	12,6	68,0
Куяльник	10,8	0,0	5,4	–48,2	10,8	14,1
Перемога одеська	4,3	10,7	7,5	–46,1	6,4	60,3
Понтійка	12,8	10,8	11,8	–41,8	2,0	12,0
Відповідь одеська	6,1	5,7	5,9	–47,7	0,4	4,8
Вірність	13,3	15,3	14,3	–39,3	2,0	9,9
Перевага	10,0	14,8	12,4	–41,2	4,8	27,4
Версія одеська	7,7	16,3	12,0	–41,6	8,6	50,7
Манера одеська	5,0	25,0	15,0	–38,6	20,0	94,3
Журавка одеська	3,6	2,0	2,8	–50,8	1,6	40,4
Мудрість одеська	17,6	8,1	12,9	–40,8	9,5	52,3
X*	11,0	15,5	13,2	–		
min	1,3	0,0	1,5	–		
max	53,9	53,3	53,6	–		

1	2	3	4	5	6	7
R**	52,6	53,3	52,2	–		
S****	11,8	14,7	12,3	–		
V***	107,7	95,0	92,7	–		

Примітки: X^* – середнє значення, \min – мінімальнє значення ознаки, \max – максимальнє значення ознаки, R^{**} – розмах варіювання, V^{***} – коефіцієнт варіації, %, S^{****} – стандартнє відхилення.

за стійкістю проти *Tilletia caries* із дуже високою стійкістю 0–5 % виокремлено дев'ять (28,1 %) сортів пшениці озимої – Вагома (1,5 %), Зиск (1,6 %), Зорепад (1,7 %), Нива одеська, Журавка одеська, Покровська (2,2 %, 2,8 %, 3,2 % відповідно) та інші. Високу стійкість мали 18,8 % сортів (Гладь, Куяльник, Відповідь одеська – 5,3 %, 5,4 %, 5,9 % відповідно) та інші. Стійкістю щодо збудника *Tilletia caries* характеризувались 28,1 % сортів пшениці озимої – Понтійка (11,8 %), Версія одеська (12,0 %), Перевага (12,4 %) та інші.

За даними 2023 і 2024 рр. кращими за стійкістю проти збудника *Tilletia caries* виділено сорти пшениці м'якої озимої відповідно за роками: Нива одеська з інтенсивністю ураження (1,3 %, 3,0 %), Зорепад (2,1 %, 1,2 %), Вагома (2,9 %, 0,0 %), Зиск (3,2 %, 0,0 %), Покровська (6,3 %, 0,0 %), Гейзер (4,0 %, 4,1 %), Журавка одеська (3,6 %, 2,0 %).

Стабільністю інтенсивності ураження патогеном *Tilletia caries* впродовж років досліджень виділились сорти Гейзер ($R = 0,2$ %), Відповідь одеська ($R = 0,4$ %), Полка, сприй-

нятливий сорт ($R = 0,6$ %), Гладь, Зорепад ($R = 0,9$ %), Основа одеська ($R=1,5$ %), Журавка одеська ($R=1,6$ %), Нива одеська ($R = 1,7$ %), Понтійка, Вірність ($R = 2,0$ %), Кантата одеська ($R = 2,5$ %) (табл. 1).

У досліді де коефіцієнт варіації (V) становив (0,8–30,2 %) – 43,8 % сортів засвідчили, що мінливість інтенсивності ураження патогеном була низькою. Найменшу величину показника спостерігали у сортів: Полка – індикатор (0,8 %), Гейзер (3,4 %), Відповідь одеська (4,8 %), Вірність (9,9 %) та інші.

За результатами досліджень нами було виявлено різну норму реакції числа сортів пшениці м'якої озимої у поєднанні з підвищеними елементами продуктивності та показниками якості зерна на зміну гідротермічних умов у різні роки вирощування (екоградієнт). Довірчий рівень (p -level) був меншим 0,001 % рівня значимості (табл. 2) за обома факторами. Це означає, що на користь нульової гіпотези припадає майже 0 % шансів і вона відкидається.

З'ясовано, що на стійкість проти *Tilletia caries* пшениці озимої вплив генотипу (сорт)

Таблиця 2. Результати дисперсійного аналізу ураження сортів пшениці озимої збудником *Tilletia caries* Tul.

Джерело мінливості	Сума квадратів	Ступені свободи	Середні квадрати	Критерій Фішера		p -level	η^3 , %	HIP ₀₅
				Факт. ¹⁾	Табл. ²⁾			
Екоградієнт	650,70	1	650,7	43,252	4,00	0,00	2,7	1,37
Сорт	18715,85	31	603,74	40,13	1,39	0,00	78,9	5,48
Взаємодія екоградієнт × сорт	3406,22	31	109,88	7,304	1,39	0,00	14,4	7,75
Випадкове	962,85	64	15,04				4,1	
Загальне	23735,62	127					100	

Примітки: Факт.¹⁾ – критерій Фішера фактичний; Табл.²⁾ – критерій Фішера табличний; η^3 – частка впливу фактора; p -level – довірчий рівень

складав 79 %, екоградієнт – 3 %, взаємодія обох джерел мінливості – 14 %, а вплив випадкових факторів становив близько 4 %.

Отже прояв мінливості аналізованої ознаки достовірно найбільше залежав від ге-

нотипу сорту і в 29 раз менше від екоградієнта.

Селекція на імунітет була і залишається головним напрямом. Виділення високостійких генотипів проти збудника твердої сажки з високим рівнем цінних ознак та подаль-

шим використанням їх у практичній селекції є надзвичайно актуальним дослідженням. Використання їх у селекційних схемах *Triticum aestivum* L. сприятиме створенню стійких сортів щодо *Tilletia caries* Tul., а впровадження у виробництво – забезпечить зниження інфекції і стримуватиме появу нових рас збудника.

Висновки. За результатами проведених досліджень оцінено сорти пшениці м'якої озимої різних за показниками якості зерна установ України щодо інтенсивності ураження *Tilletia caries*. Сорти які вивчали проявляли стійкість до патогену. Встановлено,

дев'ять сортів які мали ураження менше 5% на інфекційному фоні впродовж (2023, 2024 рр. відповідно: Вагома (2,9 %, 0,0 %), Зорепад (2,1 %, 1,2 %), Зиск (3,2 %, 0,0 %), Нива одеська (1,3 %, 3,0 %) Журавка одеська (3,6 %, 2,0 %), Покровська (6,3 %, 0,0 %), Кантата одеська (2,7 %, 5,2 %), Гейзер (4,0 %, 4,2 %), Ліра одеська (6,6 %, 3,4 %). Виділені за стійкістю сорти щодо *Tilletia caries* можуть бути використані, як джерела нового вихідного матеріалу для селекції нових сортів пшениці м'якої озимої, а впровадження у виробництво – забезпечить зниження інфекції і стримуватиме появу нових рас збудника.

Використана література

1. Rasheed, A., Mahmood, T., Gul-Kazi, A., & Mujeeb-Kazi, A. (2013). An Overview of Omics for Wheat Grain Quality Improvement.
2. Показники якості зерна пшениці та фактори, які на них впливають. (2024). <https://www.ifdcsm.com.ua/uk/news/729/pokaznyky-iakosti-zerna-pshenytsi-ta-factory-iaki-na-nykh-vplyvai>
3. Nanotechnology Scope and Applications for Wheat Production and Quality Enhancement: A Review of Recent Advances. Poornam Jsarotia, P. L. Kashyap, A. Bhardwaj, Sudheer Kumar, G. Singh. *Wheat and Barley Research*, 2018. DOI: 10.25174/2249-4065/2018/76672.
4. Осъмачко О. М., Бакуменко О. М., Власенко В. А. Створення селекційного матеріалу пшениці м'якої озимої за стійкістю до листкових хвороб в умовах північно-східного Лісостепу. Монографія. Суми: ФОП Литовченко Є. Б., 2020. 2014 с.
5. Шестопад О. Л., Замбрборщ І. С., Трасковецька В. А., Васил'єв О. А., Бабаянц Л. Т., Чекалова М. С., Афіногенов О. А. Отримання дигаплоїдних ліній пшениці м'якої озимої з комплексною стійкістю до іржі та твердої сажки методом культури пилків *in vitro*. *Factory eksperymentalnoi evoliucii organizmiv*. 2023. Т. 32. С. 125–129.
6. Демчук В. ТОП-10 країн виробників пшениці в 2021/22 МР. Режим доступу: <https://latifundist.com/rating/top-10-krajin-virobnikiv-pshenitsi-v-2021-22-mr>
7. Тимошук Т. М., Котельницька Г. М., Тишковський В. В., Дереча І. М. Сорт, як чинник формування високопродуктивних агроценозів. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XXII міжнар. наук.-практ. форуму*. 5–7 жовтня 2021 р.: у 2 т. Львів: АТБ. 2021. Т. 1. С. 374–376.
8. Голосна Л. М., Афанасьєва О. Г., Шевчук О. В., Кучерова Л. О., Швець І. С., Губенко Л. В. Імунологічна характеристика сортів пшениці озимої до основних збудників хвороб в зоні Правобережного *Cereal Research Communications*. 2020. 48 (3). P. 333–339.
9. Шевчук О. В., Кислих Т. М., Голосна Л. М., Афанасьєва О. Г. Гриби роду *Tilletia* на зерні пшениці Лісостепу. *Faktori eksperimentalnoi evoliucii organizmiv*. 2021. № 29. С. 74–81.
10. Баранник Т., Поспелова Г., Нечипоренко Н. Метод відбитків у діагностиці насінневої інфекції пшениці озимої. Захист і карантин рослин: *Історія та сьогодення (присвячена 110 річниці створення відділу захисту рослин Полтавської дослідної станції ім. М. І. Вавилова*. Матеріали міжнародної наук.-практ. конф. (м. Полтава, 24–25 листопада 2020 р.). Полтава: ПДАА. 2020. С. 30–32.
11. Mishra K. K., Gahtyari N. C., Kant L. Common bunt and Smuts in Wheat and Barley Genetics, breeding, and management: current status and future prospects. *New Horizons in Wheat and Barley Research: Global Trends, Breeding and Quality Enhancement*. 2022. P. 331–357.
12. Dumalasoová V., Leišová-Svobodová L., Bartoš P. Common bunt resistance of Czech and European winter wheat cultivars and breeder lines. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2018. 50. P. 201–207.
13. Sedaghatjoo S., Mishra B., Forster M. K., Becker Y., Keilwagen J., Killermann B., Maier W. Comparative genomics reveals low levels of inter- and intraspecies diversity in the causal agents of dwarf and common bunt of wheat and hint at conspecificity of *Tilletia caries* and *T. laevis*. *IMA fungus*. 2022. 13. 1:11
14. Shevchuk O., Kyslykh T., Holosna L., Afanasieva O. *Tilletia* species on winter wheat grain. *Quarantine and plant protection*. 2020. 10–12. P. 3–7.
15. Rudloff J. E., Bauer R., Büttner P., Sedaghtjoo S., Kirsch N., Maier W. Monitoring zum Vorkommen von *Tilletia controversa* an konventionell erzeugtem Winterweizen in Norddeutschland. *Journal of Cultivated Plants/ Journal für Kulturpflanzen*. 2020. 72 (8). P. 447–452.
16. Borgen A., Davanlou M. Biological control of common bunt (*Tilletia tritici*). In *Nature Farming and Microbial Applications*. 2024. P. 157–171. CRC Press.
17. Aydoğdu M., Kaya Y. Reactions of spring wheat varieties to common bunt (*Tilletia laevis*) in Turkey. озимої. *Карантин і захист рослин*. 2020. № 10–12 (263). С. 3–7.
18. Forster M. K., Sedaghatjoo S., Maier W., Killermann B., Niessen L. Discrimination of *Tilletia controversa*

from the *T. caries*/*T. laevis* complex by MALDI-TOF MS analysis of teliospores. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2022. 106 (3). P. 1257–1278.

19. Гречишкіна Т. А. Елементи біологізації у сучасній технології вирощування пшениці озимої. *Перспективні напрями та інноваційні досягнення аграрної науки*: матеріали всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., присвяченої 145-річчю від заснування кафедри ботаніки та захисту рослин (24 травня 2019). Херсон: ДВНЗ «ХДАУ». 2019. С. 58–61.
20. Муха Т. І., Мурашко Л. А., Гуменюк О. В., Судденко Ю. М., Новицька Н. В., Мартинов О. М. Створення високопродуктивних форм пшениці озимої з комплексною стійкістю проти хвороб та шкідників на штучних інфекційних фонах їх збудників. *Plant and Soil Science*. 2022. Vol. 13. No. 1. С. 43–50.
21. Зеленець О. А., Мешко В. А., Малюченко А. Г., Коваленко Н. П., Поспелова Г. Д. Проблеми фіто-

санітарного стану посівів пшениці та шляхи їх вирішення. *Ефективне функціонування екологічно-стабільних територій у контексті стратегії стійкого розвитку: агроекологічний, соціальний та економічний аспекти*: матеріали III міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (12 грудня 2019 р.). Полтава. 2019. С. 44–47.

22. Бабаянц О. В., Бабаянц Л. Т. Основы селекции и методология оценок устойчивости пшеницы к возбудителям болезней. *Одесса: ВМВ*. 2014. 401 с.
23. Методичні рекомендації щодо визначення та підрахунку спор різних видів збудників сажкових хвороб. Чайковський В. М., Челомбітко А. Ф., Башинська О. В., Лихач Є. А., Галюк В. П., Василенко К. С., Суворова А. В., Андрієнко О. Я., Гада І. Є., Ющук Є. Т., Журавчак Т. М., Бабій В. І., Мілева С. О., Авдєєва О. А. Київ: «Державна служба України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів». 2024. 23 с.

References

1. Rasheed, A., Mahmood, T., Gul-Kazi, A., & Mujeeb-Kazi, A. (2013). An overview of omics for wheat grain quality improvement.
2. Wheat grain quality indicators and factors that influence them (2024). <https://www.ifdcsm.com.ua/uk/news/729/pokaznyky-iakosti-zerna-pshenytsi-ta-factory-iaki-na-nykh-vplyvai>. [in Ukrainian].
3. Jsarotia, P., Kashyap, P. L., Bhardwaj, A., Kumar, S., & Singh, G. (2018). Nanotechnology scope and applications for wheat production and quality enhancement: A review of recent advances. *Wheat and Barley Research*. <https://doi.org/10.25174/2249-4065/2018/76672>.
4. Osmachko, O. M., Bakumenko, O. M., & Vlasenko, V. A. (2020). Creation of soft winter wheat breeding material for resistance to foliar diseases in the conditions of the Northeastern Forest-steppe. *Sumy: FOP Lytovchenko Ye. B.* 2014 p. [in Ukrainian].
5. Shestopal, O. L., Zambriborshch, I. S., Traskovetska, V. A., Vasyliiev, O. A., Babaiants, L. T., Chekalova, M. S., & Afinohenov, O. A. (2023). Production of digaploid lines of soft winter wheat with complex resistance to rust and hard smut by anther culture in vitro. *Fakty eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmv* [Factors of experimental evolution of organisms], 32, 125–129. [in Ukrainian].
6. Demchuk, V. (2022). TOP-10 wheat producing countries in 2021/22. <https://latifundist.com/rating/top-10-krayin-virobnikiv-pshenitsi-v-2021-22-mr>. [in Ukrainian].
7. Tymoshchuk, T. M., Kotelnytska, H. M., Tyshkovskiy, V. V., & Derecha, I. M. (2021). Variety as a factor in the formation of highly productive agrocenoses. *Proceeding from The theory and practice of development of agriculture and rural areas: XXII intern. sci. pract. forum.* (vol. 1, pp. 374–376). Lviv: ATB. [in Ukrainian].
8. Holosna, L. M., Afanasieva, O. H., Shevchuk, O. V., Kucherova, L. O., Shvets, I. S., & Hubenko, L. V. (2021). Immunological characteristics of winter wheat varieties to the main pathogens in the Right-Bank Forest-Steppe zone. *Fakty eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmv* [Factors of experimental evolution of organisms], 29, 74–81. [in Ukrainian].
9. Barannyk, T., Pospielova, H., & Nechyporenko, N. (2020). The fingerprint method in the diagnosis of seed infection of winter wheat. In *Zakhyst i karantyn roslyn: Istoriia ta sohodennia* [Plant protection and quarantine: history and nowadays]. (pp. 30–32). Poltava: PDAA. [in Ukrainian].
10. Mishra, K. K., Gahtyari, N. C., & Kant, L. (2022). Common bunt and smuts in wheat and barley: Genetics, breeding, and management: Current status and future prospects. In *New Horizons in Wheat and Barley Research*. (pp. 331–357).
11. Dumaslová, V., Leišová-Svobodová, L., & Bartoš, P. (2018). Common bunt resistance of Czech and European winter wheat cultivars and breeder lines. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 50, 201–207.
12. Sedaghatjoo, S., Mishra, B., Forster, M. K., Becker, Y., Keilwagen, J., Killermann, B., & Maier, W. (2022). Comparative genomics reveals low levels of inter- and intraspecies diversity in the causal agents of dwarf and common bunt of wheat and hint at conspecificity of *Tilletia caries* and *T. laevis*. *IMA Fungus*, 13 (1), 11.
13. Shevchuk, O., Kyslykh, T., Holosna, L., & Afanasieva, O. (2020). *Tilletia* species on winter wheat grain. *Karantyn i Zakhyst Roslyn* [Quarantine and Plant Protection], 10–12, 3–7. [in Ukrainian].
14. Rudloff, J. E., Bauer, R., Büttner, P., Sedaghtjoo, S., Kirsch, N., & Maier, W. (2020). Monitoring zum Vorkommen von *Tilletia controversa* an konventionell erzeugtem Winterweizen in Norddeutschland. *Journal of Cultivated Plants / Journal für Kulturpflanzen*, 72 (8), 447–452.
15. Borgen, A., & Davanlou, M. (2024). Biological control of common bunt (*Tilletia tritici*). In *Nature Farming and Microbial Applications*, pp. 157–171. CRC Press.
15. Aydoğdu, M., & Kaya, Y. (2020). Reactions of spring wheat varieties to common bunt (*Tilletia laevis*) in

- Turkey. *Cereal Research Communications*, 48 (3), 333–339.
16. Shevchuk, O. V., Kyslykh, T. M., Holosna, L. M., & Afanasieva, O. H. (2020). Fungi of *Tilletia* genus on the kernels of winter wheat. *Karantyn i zakhyst roslyn* [Quarantine and Plant Protection], 10–12, 3–7. [in Ukrainian].
 17. Forster, M. K., Sedaghatjoo, S., Maier, W., Killermann, B., & Niessen, L. (2022). Discrimination of *Tilletia controversa* from the *T. caries*/*T. laevis* complex by MALDI-TOF MS analysis of teliospores. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106 (3), 1257–1278.
 18. Hrechyshkina, T. A. (2019). Elements of biologization in modern technology of growing winter wheat. In *Perspektyvni napriamy ta innovatsiini dosiahnennia ahrarnoi nauky* [Promising directions and innovative achievements of agricultural science.] (pp. 58–61). Kherson: KhDAU. [in Ukrainian].
 19. Mukha, T. I., Murashko, L. A., Humeniuk, O. V., Suddenko, Yu. M., Novytska, N. V., & Martynov, O. M. (2022). Creation of highly productive forms of winter wheat with complex resistance to diseases and pests on artificial infectious backgrounds of their pathogens. *Plant and Soil Science*, 13 (1), 43–50. [in Ukrainian].
 20. Zelenets, O. A., Meshko, V. A., Maliuchenko, A. H., Kovalenko, N. P., & Pospitelova, H. D. (2019). Problems of the phytosanitary condition of wheat crops and ways to solve them. *Efektivne funkcionuvannya ekolohichno-stabinyx terytorij u konteksti stratehiyi stijkoho rozvytku: ahroekolohichnyj, socialnyi ta ekonomichnyj aspekty: materialy III mizhnar. nauk. prakt. online-konf. Proceeding from Effective functioning of ecologically stable territories in the context of a sustainable development strategy: agroecological, social and economic aspects: III intern. scie. pract. internet conf.* (pp. 44–47). Poltava. [in Ukrainian].
 21. Babaiants, O. V., & Babaiants, L. T. (2014). Fundamentals of selection and methodology for assessing wheat resistance to disease pathogens. Odesa: VMV. [in Russian].
 22. Tchaikovskiy V. M., Chelombitko A. F., Bashynska O. V., Lykhach E. A., Haliuk V. P., Vasylenko K. S., Suvorova A. V., Andrienko O. Y., Gada I. E., Yushchuk E. T., Zhuravchak T. M., Babii V. I., Mileva S. O., Avdeieva O. A. (2024). *Metodychni rekomendatsii shchodo vyznachennia ta pidrakhunku spor riznykh vydiv zbudnykiv sazhkovykh khvorob* [Methodological recommendations for the identification and counting of spores of various types of pathogens of sooty mold diseases]. Kyiv: *Derzhavna sluzhba Ukrainy z pytan bezpechnosti kharchovykh produktiv ta zakhystu spozhyvachiv* [State Service of Ukraine for Food Safety and Consumer Protection]. 2024. 23 p. [in Ukrainian].

UDC 633.111 «324»:631.526.3

Khoroshko, N. M., Murashko, L. A. Characteristics of *Triticum aestivum* L. source material for resistance to *Tilletia caries* Tul. *Grain Crops*. 2025. 9 (1). 31–39.

The V.M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS of Ukraine, 68 Tsentralna St., Tsentralne village, Obukhivka region, Kyiv oblast, 08853, Ukraine

Topicality. The cultivation of new high-yielding crop varieties with high disease resistance is one of the leading factors in improving the sustainability and efficiency of agricultural production. One of the most widespread and harmful diseases of winter wheat is head smut. **Purpose.** To evaluate and characterise the infection intensity of winter wheat varieties by *Tilletia caries* (DC.) Tul. on an artificial infectious background of the pathogen and to identify resistant genotypes. **Materials and Methods.** Thirty-two varieties of soft winter wheat developed by different institutions of Ukraine were selected as the material for the study. The inoculum of the head smut pathogen was collected from winter wheat varieties with different levels of resistance to the pathogen, which were grown in the experimental plots of the laboratory. The resistance of winter wheat varieties to head smut was studied against an artificial infection background in the field conditions. In laboratory conditions, the seed was inoculated with chlamydospores of the *Tilletia caries* pathogen population at the rate of 1 g of spores per 100 g of grain. The methods used in studies were laboratory, field, and statistical analysis. The disease infection intensity was recorded in the milky-wax ripeness stage of winter wheat using a method based on calculation of the number of healthy and diseased spikes. **Results.** According to the two-year data of 2023–2024, the best winter wheat varieties in terms of resistance to *Tilletia caries* were identified: Nyva Odeska with the infection intensity (1.2 %, 3.0 %, respectively), Zorepad (2.1 %, 1.2 %, respectively), Vahoma (2.9 %, 0.0 %, respectively), Zysk (3.1 %, 0.0 %, respectively), Pokrovska (6.2 %, 0.0 %, respectively), and Heizer (4.0 %, 4.1 %, respectively). The following varieties were characterised by the stability in the *Tilletia caries* infection intensity during the years of research: Heizer (R = 0.1 %), Vidpovid Odeska (R = 0.4 %), susceptible variety Polka (R = 0.6 %), Hlad, Zorepad (R = 0.9 %), Nyva Odeska (R = 1.8 %), Pontiika (R = 2.0 %), Cantata Odeska (R = 2.4 %). According to the results of our research, we found a different rate of response of *Triticum aestivum* L. varieties to changes in hydrothermal conditions in different cultivation years (ecogradient). **Conclusions.** The resistance of 32 varieties of soft winter wheat to head smut infection was evaluated and characterised. The study found that 28 % of the varieties had a very high level of resistance to the pathogen on an artificial infectious background in the experiment for two years. The resistant varieties Vahoma, Zorepad, Zysk, Nyva Odeska, Zhuravka Odeska, Pokrovska, Kantata Odeska, Heizer, and Lira Odeska with an infection percentage less than 5 % were identified and recommended as a source of resistance to head smut.

Key words: pathogen, artificial infectious background, winter wheat, variety, head smut, infection intensity