

УСПАДКУВАННЯ СТІЙКОСТІ ДО БОРОШНИСТОЇ РОСИ (*BLUMERIA GRAMINIS* F. SP. TRITICIS BGT.) ГІБРИДАМИ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ РІЗНОГО ЕКОЛОГО-ГЕНЕТИЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ

ЖУПИНА А.Ю. – здобувач ступеня доктора філософії

orcid.org/0000-0002-3630-7579

Інститут зрошувального землеробства Національної академії аграрних наук України

БАЗАЛІЙ Г.Г. – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник

orcid.org/0000-0003-2842-0835

Інститут зрошувального землеробства Національної академії аграрних наук України

УСИК Л.О. – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник

orcid.org/0000-0002-9710-0758

Інститут зрошувального землеробства Національної академії аграрних наук України

МАРЧЕНКО Т.Ю. – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник

orcid.org/0000-0001-6994-3443

Інститут зрошувального землеробства Національної академії аграрних наук України

ЛАВРИНЕНКО Ю.О. – доктор сільськогосподарських наук, професор

orcid.org/0000-0001-9442-8793

Інститут зрошувального землеробства Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Однією з вимог, що традиційно постає перед селекціонером, є створення високопродуктивних сортів пшениці м'якої озимої *Triticum aestivum* L. з високою потенційною врожайністю зерна, що здатні реалізовувати генетичний потенціал продуктивності в різних агроекологічних умовах та давати сталі врожаї. Наразі набуває актуальності створення сортів інтенсивного типу з урожайністю зерна понад 10 т/га. Таку врожайність може бути реалізовано в умовах Півдня України, який характеризується забезпеченням тепловими та світловими ресурсами, за наявності науково обґрунтованих інтенсивних технологій вирощування і зрошення. Однак постає завдання із запобігання різниці між біологічною (потенційною) та господарською (реальною) продуктивністю через деструктивні біотичні фактори середовища. Одним із важливих чинників втрати врожаю (від 15 до 50% залежно від вірулентності патогену та умов року) є ураження грибовими хворобами, які можуть бути особливо шкодочинними на інтенсивних сортах. Серед заходів інтегрованого захисту пшениці від ураження хворобами найбільш дієвим і водночас екологічним вважається створення резистентних сортів шляхом селекції в конкретних агрокліматичних зонах [1–3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з найбільш поширених і шкодочинних хвороб пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.) у світовому масштабі є борошниста роса (*Blumeria graminis* F. sp. tritici (Bgt); syn. *Erysiphe graminis* DC.), яка має високі темпи інвазії та наносить агровиробництву втрати урожаю зерна в межах 15...50% [4; 5].

Важливим напрямом досліджень є виявлення та використання проти борошнистої роси генів резистентності широкого спектру дії, а також вивчення механізмів стійкості на молекулярному рівні для ефективної селекційної протидії шкідливості *Blumeria graminis* F. [6].

Селекція на стійкість до борошнистої роси базується на використанні генів стійкості *Pm*, яких на цей

час відомо близько 60: *Pm*¹ – *Pm*43 з постійними символами (щодо деяких із них відомі різні алельні варіанти) та 20 із тимчасовими символами; усі вони розрізняються за своєю ефективністю проти різних рас збудника. Ефективність більшості з них для України ще не вивчена. Крім расоспецифічної, для пшениці встановлена також неспецифічна стійкість до збудника борошнистої роси. На сортах із нерасоспецифічною стійкістю до борошнистої роси латентний період патогена подовжений, менше формується пустул і спор, через що сповільнюється формування колонії гриба. Така стійкість забезпечується стабілізацією расового складу популяції патогена та зумовлює тривалу стійкість сортів. Тому для успішного контролю збудника борошнистої роси пшениці пропонується поєднувати в сорті декілька головних генів із полігенною стійкістю [7].

Встановлено, що оптимальна температура для поширення борошнистої роси припадає на фази кушіння й виходу у трубку на пшениці ярій та колосіння і цвітіння – на озимій. Тому на ярій пшениці хвороба виявляється більш шкідливою, ніж на озимій. За оптимальної температури (15–20°C) та високої вологості життєвий цикл може завершитися протягом 10 днів, проте за температури понад 25°C розвиток гриба сповільнюється, через що в жарке літо хвороба менш шкідлива. Аерогенний спосіб перенесення інфекції сприяє швидкому поширенню хвороби на великих площах [8].

Скринінг на «стійкість/толерантність» селекційних зразків до ушкоджень листовими хворобами (зокрема, борошною росою) в умовах Румунії показав, що деструктивні кліматичні фактори та показники захворюваності корелюють зі зниженням урожайності, що необхідно аналізувати як частину комплексної екологічної системи. Найбільша шкодочинність зафіксована в разі ураження у фазу цвітіння та викидання прапоркового листка, що зменшує урожайність до 40% [9].

На території України в агроценозах пшениці озимої формується широкий фітопатогенний комплекс, у якому

серед доміантних грибних хвороб превалює борошниста роса та септоріоз. Запропоновано використовувати в селекції пшениці озимої джерела стійкості до фітопатогенів різного еколого-географічного походження, що пройшли випробування та рекомендовані селекціонерам для подальшої селекційної роботи [10].

У дослідженнях доведено, що формування фітопатогенного комплексу зумовлене метеорологічними умовами вегетаційного періоду. Сприятливішими умовами для патогенів характеризувалися умови з підвищеним гідротермічним коефіцієнтом та за підвищеної температури, високої вологості повітря. Ураженість збудниками листових хвороб поступово зростає в регіонах України, чому сприяє підвищення температурного режиму у зв'язку зі змінами клімату [11; 12].

Умови зрошення в Південному Степу є сприятливими для розвитку грибних хвороб, що вимагає ретельного добору вихідного матеріалу в селекції пшениці на резистентність і продуктивність для зрошуваного землеробства. Штучне зрошення, особливо дощуванням, значно підвищує ураженість рослин пшениці грибними захворюваннями, що зобов'язує селекціонерів проводити паралельні добори на підвищення потенціалу урожайності та стійкості до хвороб [13].

Ефективним прийомом створення нового вихідного матеріалу є залучення віддаленого європейського матеріалу для гібридизації та подальшого кумулятивного добору. Позитивні результати отримані за умови залучення болгарських сортозразків у селекції на стійкість до хвороб та продуктивність у Лісостеповій зоні України. При цьому формування стійкості проти збудників хвороб необхідно проводити в ранніх поколіннях гібридів пшениці (з F_1 – F_2), оскільки це дає змогу спрогнозувати селекційну цінність гібридних потомств та встановити трансгресивні форми [11; 14, с. 173].

Тривалість періоду вегетації пшениці озимої та окремих міжфазних періодів може чинити вагомий вплив на ураженість хворобами, оскільки інфекційне навантаження значно зростає з подовженням вегетації. Тому залучення до гібридизації з місцевими сортами більш пізньостиглих короткостеблових генотипів західноєвропейського еко типу з подовженим періодом вегетації та окремих міжфазних періодів разом із підвищеним потенціалом урожайності з наступними індивідуальними доборами в гібридних популяціях може надати перспективу отримання цінних резистентних сегрегатів. У попередній нашій публікації було висвітлено особливості успадкування висоти рослин батьківських форм, гібридів та особливості кореляцій висоти рослин, тривалості міжфазного періоду «цвітіння – стиглість зерна» з урожайністю зерна елітних селекційних ліній за використання такого типу схрещувань [15].

Мета статті – визначити характер успадкування ознаки «стійкість (ураженість) до борошнистої роси» в гібридів пшениці м'якої озимої, що створені із залученням пізньостиглих зразків західноєвропейського еко типу, а також встановити кореляції стійкості до борошнистої роси з тривалістю міжфазного періоду «цвітіння – стиглість зерна» та урожайністю зерна елітних селекційних сімей.

Матеріали та методи досліджень. Польові дослідження проведені в Інституті зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України у 2016–2021 рр. Об'єктом досліджень були сучасні сорти пшениці озимої селекції Інституту зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України, колекційні зразки західноєвропейського еко типу, що були інтродуковані з Франції (номера реєстрації Кф №...-16), та гібриди, створені за їх участю. Сорти та гібриди висівалися під час зрошення за схемою «материнська форма, батьківська, гібрид». Міжфазні періоди, обліки урожайності, характеристику успадкованості ознак гібридами проводили за загально-визнаними методиками. Стійкість рослин до борошнистої роси оцінювали у природних умовах у період максимального їх розвитку – у фазу колосіння/формування зернівки. Індивідуальні добори елітних рослин із популяції F_2 висівали в селекційних розсадниках за облікової площі 0,3 м². Площа облікової ділянки в контрольному розсаднику – 4 м², повторення дворазове. Методи – польові, лабораторні, селекційно-генетичні, статистичні. Стійкість (ураженість) борошнистою росою (*Blumeria graminis* F. sp. tritici (Bgt); syn. *Erysiphe graminis* DC.) визначали в польових умовах за загально-визнаними методиками з використанням інтегрованої шкали стійкості (ураженості) зернових культур [16–19].

Результати досліджень. У схему схрещувань були залучені місцеві сорти селекції Інституту зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України та західноєвропейського еко типу (шифр колекції Кф...-16), що різнилися за тривалістю вегетації і стійкістю до борошнистої роси. Усі залучені західноєвропейські сорти були з подовженим терміном виколосування та дозрівання. Стійкість до борошнистої роси батьківських компонентів інтродукованих зразків коливалася в межах 65,7...90,3% (див. табл. 1).

Найвищу стійкість показав зразок Кф15-16 (90,3%), проте не перевищив показник стійкості місцевого сорту Леда (91,2%). Більшість інтродукованих сортозразків поступалися вітчизняним за стійкістю, що може бути пов'язано з більшою тривалістю періоду вегетації та подовженням термінів інфекційного навантаження в цей період. Найбільша стійкість до борошнистої роси західноєвропейських сортів спостерігалася в Кф5-16, Кф2-16, що відповідало рівню стійкості вітчизняних сортів Овідій, Леда.

Серед вітчизняних сортів найбільшою стійкістю характеризувалися сорти Овідій, Леда (91,2...91,3%). Згідно зі шкалою для оцінки стійкості до хвороб [15, с. 14] такі сортозразки характеризуються як «стійкі» (75...90%) і займають середнє положення між «високою стійкістю» (90...100%) та «слабкою сприйнятливістю» (60...75%).

Найменша стійкість за роки досліджень була в батьківської форми Кф7-16 (64,4...65,7%), що за шкалою характеризується як сприйнятлива до ураження *Blumeria graminis* F. Менша стійкість до борошнистої роси в західноєвропейських зразків пов'язана, можливо, з більшою тривалістю періоду вегетації та подовженням інфекційним навантаженням. Проте такі зразки,

Успадкування ознаки «стійкість до борошнистої роси» гібридами F₁, F₂ пшениці озимої (2016–2018 рр.)

| Сорт, гібрид | F ₁ | | | F ₂ | | |
|----------------|----------------------------------|---|--|----------------------------------|---|--|
| | Стойкість до борошнистої роси, % | Гетерозис гіпотетичний, % (Г _{гн.}) | Гетерозис істинний, % (Г _{іст.}) | Стойкість до борошнистої роси, % | Гетерозис гіпотетичний, % (Г _{гн.}) | Гетерозис істинний, % (Г _{іст.}) |
| ♀ Кф2-16 | 88,2 | | | 89,5 | | |
| ♂ Овідій | 91,3 | | | 91,7 | | |
| Кф2-16/Овідій | 90,8 | 101,2 | 99,4 | 88,5 | 97,6 | 96,5 |
| ♀ Кф4-16 | 67,4 | | | 66,4 | | |
| ♂ Овідій | 90,8 | | | 91,0 | | |
| Кф4-16/Овідій | 89,4 | 113,0 | 98,5 | 86,2 | 109,5 | 94,7 |
| ♀ Кф6-16 | 87,9 | | | 88,3 | | |
| ♂ Овідій | 90,5 | | | 92,1 | | |
| Кф6-16/Овідій | 92,3 | 103,5 | 102,0 | 90,4 | 100,2 | 98,2 |
| ♀ Кф7-16 | 65,7 | | | 64,3 | | |
| ♂ Овідій | 90,4 | | | 91,1 | | |
| Кф7-16/Овідій | 88,5 | 112,7 | 97,9 | 84,2 | 108,4 | 92,4 |
| ♀ Кф8-16 | 77,0 | | | 74,3 | | |
| ♂ Овідій | 90,6 | | | 91,5 | | |
| Кф8-16/Овідій | 87,8 | 104,8 | 97,1 | 83,0 | 100,1 | 90,7 |
| ♀ Кф9-16 | 73,2 | | | 75,3 | | |
| ♂ Овідій | 89,7 | | | 90,4 | | |
| Кф9-16/Овідій | 87,5 | 107,4 | 97,5 | 81,3 | 98,1 | 89,9 |
| ♀ Кф10-16 | 88,9 | | | 89,0 | | |
| ♂ Овідій | 90,3 | | | 91,4 | | |
| Кф10-16/Овідій | 89,5 | 99,9 | 99,1 | 88,6 | 98,2 | 96,9 |
| ♀ Кф2-16 | 88,7 | | | 89,2 | | |
| ♂ Хб/о | 67,9 | | | 68,4 | | |
| Кф2-16/Хб/о | 89,0 | 113,7 | 100,3 | 88,3 | 112,1 | 99,0 |
| ♀ Хб/о | 68,2 | | | 69,4 | | |
| ♂ Кф2-16 | 88,0 | | | 89,1 | | |
| Хб/о/Кф2-16 | 87,4 | 111,9 | 99,3 | 85,3 | 107,6 | 95,7 |
| ♀ Кошова | 79,8 | | | 80,4 | | |
| ♂ Кф2-16 | 88,4 | | | 89,0 | | |
| Кошова/Кф2-16 | 86,3 | 102,6 | 97,6 | 85,2 | 100,6 | 95,7 |
| ♀ Кф5-16 | 90,3 | | | 89,4 | | |
| ♂ Ледя | 91,2 | | | 90,5 | | |
| Кф5-16/Ледя | 90,0 | 99,1 | 98,7 | 90,4 | 100,5 | 99,9 |

як Кф5-16, Кф2-16, характеризувалися досить високим рівнем стійкості (88,2...90,3%), незважаючи на подовжену тривалість вегетації.

Гібриди першого покоління (F₁) успадковували цю ознаку переважно за проміжним типом та домінуванням стійкості. Розрахунки гіпотетичного та істинного гетерозису були проведені відносно 100% до середнього арифметичного батьківських форм та кращої батьківської форми. Гіпотетичний гетерозис проявили майже всі комбінації в межах 101,2...113,0%, а комбінації Кф10-16/Овідій та Кф5-16/Ледя проявили слабке домінування сприйнятливості (99,9% та 99,1% відповідно). Істинний гетерозис проявили 2 комбінації з 12, при цьому ступінь гетерозису був дуже низьким (100,3...102,0%), що вказує на полігенний тип успадкованості та відсутність ефекту кумулятивної дії алелів стійкості й гетеро-

зисного ефекту. Найвищий рівень істинного гетерозису проявила комбінація Кф6-16/Овідій (102,0%) з рівнем стійкості 92,3%, що було найвищим показником серед гібридів першого і другого покоління та батьківських компонентів.

У другому поколінні (F₂) успадкування відбувалося переважно за проміжним типом та домінуванням стійкості до борошнистої роси. Ступінь істинного гетерозису не був зафіксований у жодній комбінації. Жоден із гібридів не перевищив кращу батьківську форму (Овідій) за стійкістю зі ступенем стійкості 91,7%. Ступінь гетерозису гіпотетичного був на низькому рівні (100,1...112,1%), а три комбінації показали домінування ураженості.

Таким чином, перспективи використання ефекту гетерозису в гібридів пшениці м'якої із залученням контрастних за морфо-біологічними показниками, генетич-

ним, еколого-географічним походженням батьківських компонентів не передбачають позитивні результати в напрямі підвищення стійкості до борошнистої роси.

На основі проведених індивідуальних доборів за господарсько важливими ознаками в популяціях другого покоління була проведена оцінка ефективності доборів за ознакою «стійкість до борошнистої роси» та встановлено її зв'язок із тривалістю міжфазних періодів та урожайністю зерна в гібридних популяціях різного генетичного походження.

Розрахунки залежності ураженості борошнистою росою від тривалості міжфазного періоду «цвітіння – стиглість» у ліній пшениці селекційного розсадника гібридного походження Кф9-16/Овідій (уразлива форма / на стійку) показали позитивну залежність між ними (див. рис. 1).

Така залежність була констатована попередніми дослідженнями [2; 3; 8], з позиції органогенезу та фізіології вона досить передбачувана.

Подовження вегетації та поливи створюють сприятливі умови для поширення листових грибних хвороб (у цьому випадку – борошнистої роси). Коефіцієнт кореляції між тривалістю періоду «цвітіння – стиглість» та відсотком ураженості борошнистою росою становив 0,157, що вказує на сполучену мінливість цих показників. Селекція на стійкість до борошнистої роси ускладнюється в разі доборів генотипів із тривалим періодом формування й наливу зерна. Така залежність була виявлена в більшості гібридних популяцій різного походження, причому вона була незначної сили. У деяких популяцій (Кф2-16/Овідій) кореляція між цими ознаками була практично відсутня ($r = -0,046$), що вказує на можливість одночасного добору на подовження тривалості вегетації та стійкості до *Blumeria graminis* F. (див. рис. 2).

Слабка кореляція між ураженістю до *Blumeria graminis* F. та тривалістю вегетації виявлена в усіх

гібридних популяцій, проте на силу та напрям кореляції впливає педігрі гібридів. Так, зміна батьківського компонента Кф9-16 із низькою стійкістю (73,2–75,3%) на зразок Кф2-16 із високою стійкістю (88,2–89,5%) (див. табл. 1) дала можливість змінити напрям залежності ураженості та тривалості вегетації з додатного на від'ємний. Характерною особливістю є те, що частина сімей (ліній) мала показники «стійкість» і «висока стійкість» (до 15% ураженості за шкалою оцінки [14; 15]) за тривалості періоду «цвітіння – стиглість» понад 50 діб. Це вказує на те, що добори на подовжену тривалість наливу зерна в гібридних популяціях пшениці озимої в разі зрошення необхідно корегувати залежно від походження гібридних популяцій та визначати попередньо такі, що мають мінімальну залежність ураженості *Blumeria graminis* F., з тривалістю вегетації. Такий тип залежності дає змогу більш впевнено й ефективно добирати одночасно за стійкістю до борошнистої роси та подовженою тривалістю формування й наливу зернівки, що сприяє підвищенню потенціалу врожайності.

Розрахунки кореляцій між ураженістю *Blumeria graminis* F. та урожайністю зерна селекційних розсадників показали досить високу від'ємну залежність між цими показниками. Так, у селекційних ліній, отриманих із гібридної популяції, створеної з використанням уразливого зразка (Кф9-16) та стійкого сорту (Овідій), коефіцієнт кореляції становив $-0,571$ (див. рис. 3).

Використання для схрещувань двох стійких до борошнистої роси зразків (Кф2-16 та Овідій) не змінило напрям і силу кореляції (див. рис. 4).

Ця залежність вказує на високу шкодочинність такої листової грибної хвороби, як *Blumeria graminis* F. Досягти високої урожайності зерна (понад 10 т/га) у селекційних номерів можна тільки за ураженості борошнистою росою до 15%, що підтверджується рисунками 3 та 4. Причому така залежність спо-

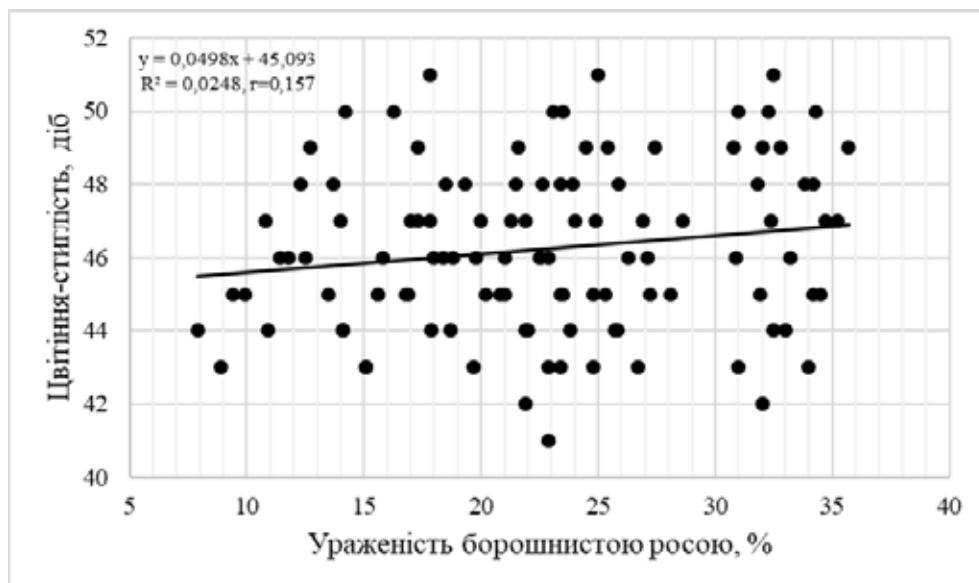


Рис. 1. Кореляційно-регресійна модель залежності міжфазного періоду «цвітіння – стиглість» та ураженості борошнистою росою в селекційних ліній із гібридної популяції Кф9-16/Овідій (середнє за 2018–2020 рр.)

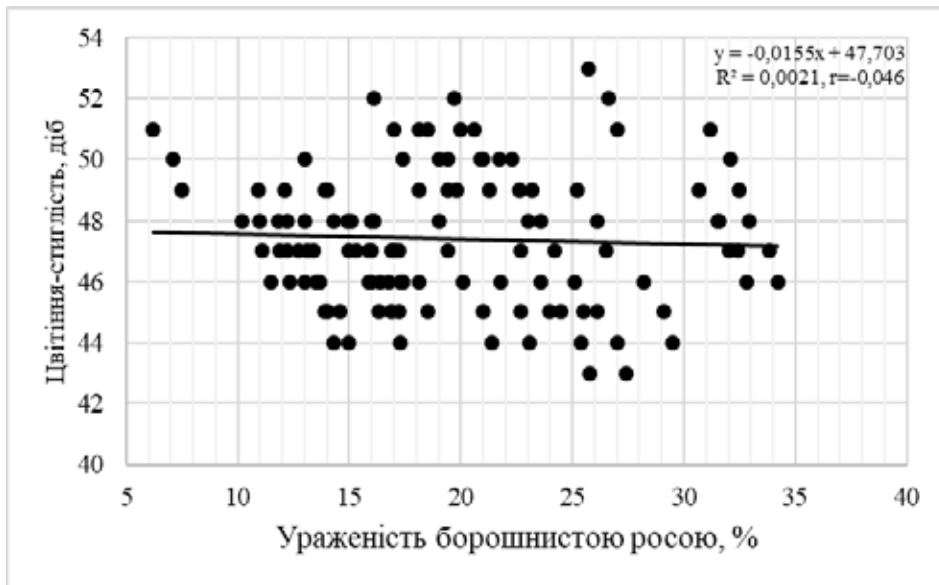


Рис. 2. Кореляційно-регресійна модель залежності міжфазного періоду «цвітіння – стиглість» та ураженості борошнистою россою в селекційних ліній із гібридної популяції Кф 2-16/Овідій (середнє за 2018–2020 рр.)

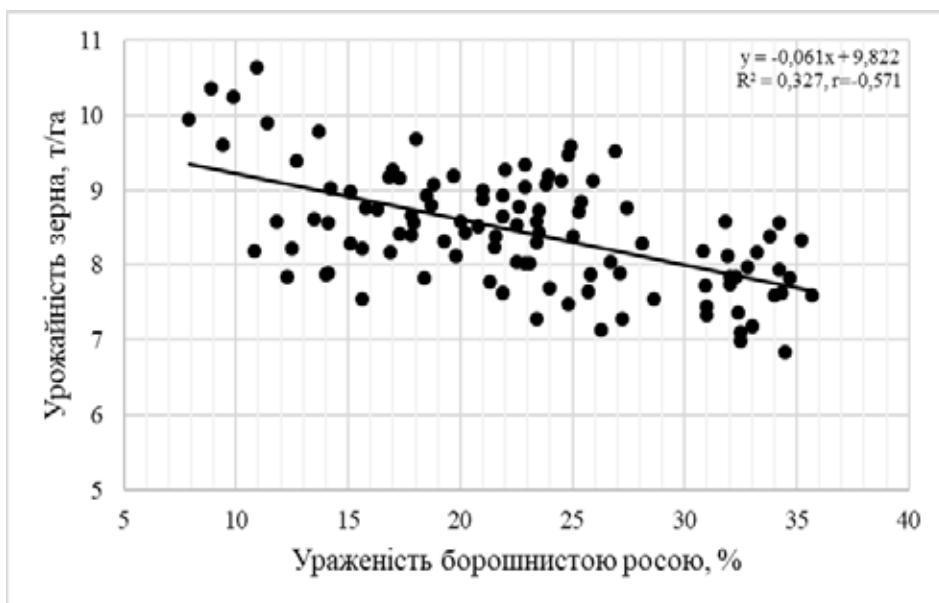


Рис. 3. Кореляційно-регресійна модель залежності урожайності зерна та ураженості борошнистою россою в селекційних ліній із гібридної популяції Кф9-16/Овідій (середнє за 2018–2020 рр.)

стерігалася в селекційних зразках з усіх гібридних популяцій.

Визначений тип кореляцій між ураженістю *Blumeria graminis* F., урожайністю та тривалістю вегетації селекційних ліній пшениці озимої вказує на необхідність корегування напрямів та інтенсивності доборів у селекції на певний агроекологічний генотип. Так, у разі селекції на посухостійкість можна проводити одночасний добір на скоростиглість, посухостійкість, урожайність і стійкість до *Blumeria graminis* F. Усі ці показники перебувають

в одному векторі добору та мають позитивні кореляції, мало відмінні від педігрі популяцій.

У разі доборів високоврожайних генотипів для умов зрошення (достатнього вологозабезпечення та теплового режиму), що мають тривалий період вегетації, вектори добору не співпадають, оскільки подовжене функціонування листового апарату призводить до більш тривалого терміну інвазії спорами *Blumeria graminis* F., підвищення ураженості та різкого падання врожайності зерна.

Проведення доборів на продуктивність і стійкість вимагає роздільних оцінок, оскільки висока стійкість до *Blumeria graminis* F. не гарантує синхронне підвищення врожайності. Більшість стійких до хвороби генотипів (до 25% ураженості) мали недостатній рівень урожайності зерна для умов зрошення в межах 7,0...8,5 т/га.

З огляду на викладене у проведенні візуальних індивідуальних доборів за ураженістю *Blumeria graminis* F., як ознакою з найбільш простим ранжуванням гібридної популяції без додаткового обладнання, необхідно враховувати можливі кореляції між урожайністю зерна та тривалістю міжфазного періоду «цвітіння – стиглість». Для умов зрошення можна використовувати гібридні популяції, у яких зафіксована невисока кореляція між ураженістю *Blumeria graminis* F. (як візуальною ознакою на підвищення урожайності) та тривалістю репродуктивного міжфазного періоду «цвітіння – стиглість» (Кф2-16/Овідій).

Для посушливих умов, а також для агроекологічних умов з обмеженою тривалістю вегетації рослин пшениці озимої (північні регіони України) можна використовувати одночасні добори за стійкістю до *Erysiphe graminis* DC., скоростиглістю, урожайністю зерна.

Під час проведення доборів на продуктивність у гібридних популяціях необхідно враховувати походження кросів, особливості батьківських компонентів та їх стійкість до *Blumeria graminis* F.

Аналіз мінливості, варіабельності та успадкованості ознаки «ураженість *Blumeria graminis* F.» показав її високу варіабельність у гібридних популяціях, достатню генотипову детермінацію для проведення цілеспрямованих доборів на стійкість. Ураженість борошнистою росою в гібридних сім'ях селекційного розсадника коливалася від 3,2 до 39,8% (див. табл. 2). Коефіцієнт варіації фенотиповий був на високому рівні (28,3...35,8%), що вказує на значну різноманітність генотипів за стій-

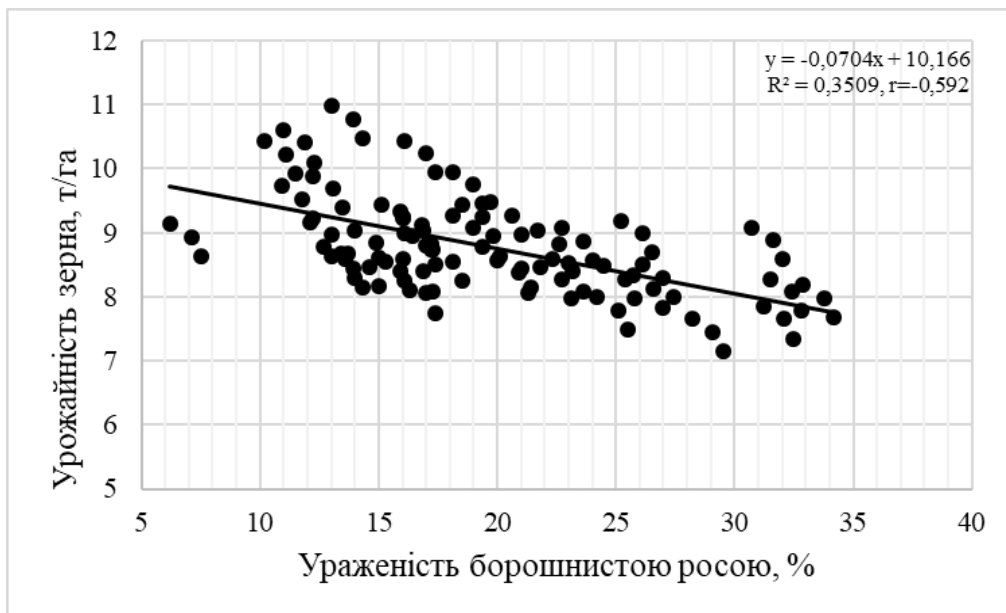


Рис. 4. Кореляційно-регресійна модель залежності урожайності зерна та ураженості борошнистою росою в селекційних ліній із гібридної популяції Кф2-16/Овідій (середнє за 2018–2020 рр.)

Таблиця 2

Параметри мінливості та успадкованості ураженості *Blumeria graminis* F. елітних сімей та кореляція її з урожайністю і тривалістю репродукційної фази в гібридних популяціях пшениці озимої

| Педігрі гібриду | Параметри | | | | |
|---------------------|---|---------------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------------|
| | Ураженість борошнистою росою, min... max, % | Коефіцієнт варіації ураженості, % (V) | Коефіцієнт успадкованості, % (H²) | Кореляція ураженості з тривалістю періоду «цвітіння – стиглість», r | Кореляція ураженості з урожайністю, r |
| Кошова/Кф 2-16 | 6,3...38,2 | 34,2 | 77,3 | 0,193 | -0,443 |
| Кф5-16/Леда | 7,2...39,8 | 31,2 | 82,4 | 0,126 | -0,531 |
| Кф2-16/Овідій | 3,2...37,8 | 28,3 | 68,3 | -0,046 | -0,592 |
| Кф2-16/Херсон. б.о. | 8,1...36,3 | 32,7 | 76,8 | 0,195 | -0,454 |
| Кф4-16/Овідій | 7,5...30,7 | 34,1 | 67,4 | 0,231 | -0,541 |
| Кф9-16/Овідій | 5,7...39,5 | 35,8 | 67,7 | 0,157 | -0,571 |

кістю (ураженістю) та можливість ефективних доборів. Можливість проведення ефективних доборів на стійкість до *Blumeria graminis* F. в гібридних популяціях, що створені за участю батьківських форм західноєвропейського еко типу, підтверджують досить високі коефіцієнти успадкованості в широкому розумінні (H^2) – 67,4...82,4%. У всіх гібридних популяціях встановлена позитивна кореляція низького рівня значущості ураженості *Blumeria graminis* F. та тривалості періоду «цвітіння – стиглість» ($r = -0,046...0,231$). Такий рівень кореляції не є серйозною перешкодою для доборів пізньостиглих форм, стійких до борошнистої роси.

Більш значущою для теорії селекції була від'ємна кореляція між ураженістю *Blumeria graminis* F. та урожайністю зерна селекційних номерів ($r = -0,443...-0,592$), тому під час доборів на високу урожайність зерна необхідно враховувати насамперед стійкість елітних рослин до борошнистої роси. Добори на урожайність і стійкість необхідно проводити з урахуванням кореляцій із тривалістю репродукційної фази розвитку та педігрі гібридних популяцій.

Висновки. Проведення оцінок відібраних сімей за ураженістю (стійкістю) борошнистою россою (*Blumeria graminis* F. sp. tritici Vgt.) у гібридних популяціях пшениці м'якої озимої, термінами проходження фаз розвитку та урожайністю зерна в селекційних розсадниках дало змогу з'ясувати рівень зв'язків окремих ознак та визначити найбільш вагомі маркерні для проведення доборів і корегування моделі сорту.

У всіх гібридних популяціях встановлена кореляція низького рівня значущості ураженості *Blumeria graminis* F. та тривалості періоду «цвітіння – стиглість» ($r = -0,046...0,231$). Такий рівень кореляції не є серйозною перешкодою для доборів пізньостиглих форм, стійких до борошнистої роси.

Добори з гібридних популяцій за стійкістю до *Blumeria graminis* F. можуть приводити як до підвищення урожайності, так і до її зменшення. Встановлена від'ємна кореляція між ураженістю *Blumeria graminis* F. та урожайністю зерна селекційних номерів ($r = -0,443...-0,571$), тому під час доборів на високу урожайність зерна необхідно враховувати насамперед стійкість елітних рослин до борошнистої роси. Добори на урожайність та стійкість необхідно проводити з урахуванням кореляцій із тривалістю репродукційної фази розвитку.

Ураженість *Blumeria graminis* F. в гібридних сім'ях селекційного розсадника коливалася від 3,2 до 39,8%. Коефіцієнт варіації фенотиповий був на високому рівні (28,3...35,8%), що вказує на значну різноманітність генотипів за стійкістю (ураженістю) та можливість ефективних доборів. Можливість проведення ефективних доборів на стійкість до *Blumeria graminis* F. в гібридних популяціях, що створені за участю батьківських форм західноєвропейського еко типу, підтверджують досить високі коефіцієнти успадкованості в широкому розумінні (H^2) – 67,4...77,3%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Лифенко С.П., Єриняк М.І., Наконечний М.Ю. Методи та результати селекції високоінтенсивних сортів пше-

ниці м'якої озимої в умовах Півдня України. *Збірник наукових праць Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сорто вивчення*. 2016. Вип. 27(67). С. 23–35.

2. Литвиненко М.А. Створення сортів пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.), адаптованих до змін клімату на Півдні України. *Збірник наукових праць Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сорто вивчення*. 2016. Вип. 27(67). С. 36–53.
3. Новый исходный материал для селекции пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на групповую устойчивость к фитопатогенам / О.В. Бабаянц, Н.И. Сауляк, Л.Т. Бабаянц, К.П. Терновой, А.В. Галаев. *Збірник наукових праць Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сорто вивчення*. 2016. Вип. 28(68). С. 68–75.
4. Multienvironmental evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm identifies donors with multiple fungal disease resistance / S. Kumar, G. Singroha, S.C. Bhardwaj et al. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2019. Vol. 66. № 4. P. 797–808. DOI: 10.1007/s10722-019-00751-3.
5. The powdery mildew resistance gene Pm8 derived from rye is suppressed by its wheat or tholog Pm3 / S. Hurni, S. Brunner, D. Stirnweis, G. Herren, D. Peditto, R.A. McIntosh, B. Keller. *The Plant Journal*. 2014. Vol. 79. № 6. P. 904–913. DOI: 10.1111/tpj.12593.
6. Tao Y., Vlasenko V., Wu L. Cloning and bioinformatics analysis of wheat powdery mildew resistance related gene TAGDSL. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2021. № 2(44). С. 66–72. URL: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.2.9>.
7. Catalogue of Gene Symbols for Wheat: 2009 Supplement / R.A. McIntosh, J. Dubcovsky, W.J. Rogers et al. *Annual Wheat Newsletter*. 2009. Vol. 55. P. 256–278.
8. Леонов О.Ю. Закономірності прояву ознаки стійкості до борошнистої роси серед зразків генофонду пшениці м'якої. *Збірник наукових праць Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сорто вивчення*. 2010. Вип. 16(56). С. 208–220.
9. The relationship between yield and pathogens attack on the advanced breeding winter wheat lines assessed for adult plant resistance / G. Păunescu, M. Paraschivu, R.A. Păunescu, C.A. Roşculete. *Scientific Papers Series "Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development"*. 2022. Vol. 22. Iss. 1. P. 493–501.
10. Моргун В.В., Топчій Т.В. Пошук нових джерел стійкості пшениці озимої до основних збудників грибних хвороб. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. Т. 48. № 5. С. 393–400. URL: <https://doi.org/10.15407/frg2016.05.393>.
11. Вихідний матеріал для селекції пшениці м'якої озимої на високу стійкість до хвороб в умовах Лісостепу України / О.А. Демидов, Г.Б. Вологдіна, С.І. Волощук, О.В. Гуменюк, В.В. Кириленко, С.О. Хоменко. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2019. Т. 24. С. 63–69.
12. Хоменко Л.О., Сандецька Н.В. Джерела комплексної стійкості пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) у селекції на адаптивність. *Plant Varieties Studying*

- and Protection*. 2018. Vol. 14. № 3. P. 270–275. URL: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.3.2018.145289>.
13. Орлюк А.П., Базалій Г.Г., Біляева І.М. Особливості успадкування стійкості до фітопатогенів гібридами озимої пшениці при зрошенні. *Зрошуване землеробство*. 2007. Вип. 47. С. 134–139.
 14. Селекція пшениці м'якої озимої за використання пшенично-житніх транслокацій в умовах центрального Лісостепу / В.В. Кириленко, Н.С. Дубовик, О.В. Гуменюк, Г.Б. Вологдіна, Р.М. Лось. Київ : Компрінт, 2021. 221 с.
 15. Успадкування висоти рослин гібридами пшениці озимої різного еколого-генетичного походження в умовах зрошення / А.Ю. Жупина, Г.Г. Базалій, Л.О. Усик, Т.Ю. Марченко, Ю.О. Лавриненко. *Аграрні інновації*. 2021. № 10. С. 122–129. URL: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.10.19>.
 16. Методика польових і лабораторних досліджень на зрошуваних землях / Р.А. Вожегова, М.П. Малярук та ін. Херсон : Гринь Д.С., 2014. 286 с.
 17. Saari E.E., Prescott J.M. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases. *Plant Disease*. 1975. № 59. P. 377–380.
 18. Бабаянц О.В., Бабаянц Л.Т. Основы селекции и методология оценок устойчивости пшеницы к возбудителям болезней. Одесса : ВМВ, 2014. 401 с.
 19. Методологія виділення форм польових культур за стійкістю до комплексу біо- та абіотичних чинників / В.П. Петренкова, І.Ю. Боровська, І.С. Лучна, Т.В. Сокол, І.М. Ниска, Є.Ю. Кучеренко, К.В. Компанець. Харків : ФОРМ Бровін, 2018. 242 с.
- REFERENCES:**
1. Lyfenko, S.P., Yeryniak, M.I., Nakonechnyi, M.Yu. (2016). Metody ta rezultaty selektsii vysokointensyvnykh sortiv pshenytsi miakoi ozymoi v umovakh Pivdnia Ukrainy [Methods and results of selection of high-intensity varieties of soft winter wheat in the South of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats Seleksiino-henetychnoho instytutu – Natsionalnoho tsentru nasinnieznavstva ta sortovyvchennia – Collection of scientific works of the Breeding and Genetic Institute – National Center for Seed Science and Variety Research*, iss. 27(67), pp. 23–35 [in Ukrainian].
 2. Lytvynenko, M.A. (2016). Stvorennia sortiv pshe-nytsi miakoi ozymoi (*Triticum aestivum* L.), adaptovanykh do zmin klimatu na Pivdni Ukrainy [Creation of varieties of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.), adapted to climate change in the South of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats Seleksiino-henetychnoho instytutu – Natsionalnoho tsentru nasinnieznavstva ta sortovyvchennia – Collection of scientific works of the Breeding and Genetic Institute – National Center for Seed Science and Variety Research*, iss. 27(67), pp. 36–53 [in Ukrainian].
 3. Babaiants, O.V., Sauliak, N.Y., Babaiants, L.T., Ternovoi, K.P., Halaev, A.V. (2016). Novui yskhodnui materyal dlia selektsyy pshenytsu (*Triticum aestivum* L.) na hruppovuiu ustoichyviost k fytopatohenam [A new starting material for the selection of wheat (*Triticum aestivum* L.) for group resistance to phytopathogens]. *Zbirnyk naukovykh prats Seleksiino-henetychnoho instytutu – Natsionalnoho tsentru nasinnieznavstva ta sortovyvchennia – Collection of scientific works of the Breeding and Genetic Institute – National Center for Seed Science and Variety Research*, iss. 28(68), pp. 68–75 [in Russian].
 4. Kumar, S., Singroha, G., Bhardwaj, S.C. (2019). Multienvironmental evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm identifies donors with multiple fungal disease resistance. *Genetic Resources and Crop Evolution*, vol. 66, no. 4, pp. 797–808. DOI: 10.1007/s10722-019-00751-3 [in English].
 5. Hurni, S., Brunner, S., Stirnweis, D., Herren, G., Peditto, D., McIntosh, R.A., Keller, B. (2014). The powdery mildew resistance gene Pm8 derived from rye is suppressed by its wheat ortholog Pm3. *The Plant Journal*, vol. 79, no. 6, pp. 904–913. DOI: 10.1111/tbj.12593 [in English].
 6. Tao, Y., Vlasenko, V., Wu, L. (2021). Cloning and bioinformatics analysis of wheat powdery mildew resistance related gene TAGDSL. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarynoho universytetu. Seriya "Ahronomiia i biolohiia" – Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series "Agronomy and Biology"*, no. 2(44), pp. 66–72. Retrieved from: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.2.9> [in English].
 7. McIntosh, R.A., Dubcovsky, J., Rogers, W.J. (2009). Catalogue of Gene Symbols for Wheat: 2009 Supplement. *Annual Wheat Newsletter*, vol. 55, pp. 256–278 [in English].
 8. Leonov, O.Yu. (2010). Zakonomirnosti proiavu oznaky stiikosti do boroshnystoi rosy sered zrazkiv henofondu pshenytsi miakoi [Regularities of manifestation of the sign of resistance to powdery mildew among the samples of the gene pool of soft wheat]. *Zbirnyk naukovykh prats Seleksiino-henetychnoho instytutu – Natsionalnoho tsentru nasinnieznavstva ta sortovyvchennia – Collection of scientific works of the Breeding and Genetic Institute – National Center for Seed Science and Variety Research*, iss. 16(56), pp. 208–220 [in Ukrainian].
 9. Păunescu, G., Paraschivu, M., Păunescu, R.A., Roșculete, C.A. (2022). The relationship between yield and pathogens attack on the advanced breeding winter wheat lines assessed for adult plant resistance. *Scientific Papers Series "Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development"*, vol. 22, iss. 1, pp. 493–501 [in English].
 10. Morhun, V.V., Topchii, T.V. (2016). Poshuk novykh dzherel stiikosti pshenytsi ozymoi do osnovnykh zbudnykiv hrybnykh khvorob [Search for new sources of resistance of winter wheat to the main pathogens of fungal diseases]. *Fiziolohiia roslyn i henetyka – Plant physiology and genetics*, vol. 48, no. 5, pp. 393–400. Retrieved from: <https://doi.org/10.15407/frg2016.05.393> [in Ukrainian].
 11. Demydov, O.A., Volohdina, H.B., Voloshchuk, S.I., Humeniuk, O.V., Kyrylenko, V.V., Khomenko, S.O. (2019). Vykhidnyi material dlia selektsii pshenytsi miakoi ozymoi na vysokuiu stiikost do khvorob v umovakh Lisostepu Ukrainy [Source material for selection of soft winter wheat for high resistance to diseases in conditions of the Forest-Steppe of Ukraine]. *Fakty eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmiv – Factors of experimental evolution of organisms*, vol. 24, pp. 63–69 [in Ukrainian].
 12. Khomenko, L.O., Sandetska, N.V. (2018). Dzherela kompleksnoi stiikosti pshenytsi ozymoi (*Triticum aes-*

- tivum L.) u selektsii na adaptyvniist [Sources of complex stability of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in selection for adaptability]. *Plant Varieties Studying and Protection*, vol. 14, no. 3, pp. 270–275. Retrieved from: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.3.2018.145289> [in Ukrainian].
13. Orliuk, A.P., Bazalii, H.H., Biliaieva, I.M. (2007). Osoblyvosti uspadkovuvannia stiikosti do fitopatohenu hibrydamy ozymoi pshenytsi pry zroshenni [Features of inheritance of resistance to phytopathogens by hybrids of winter wheat under irrigation]. *Zroshuvane zemlerobstvo – Irrigation agriculture*, iss. 47, pp. 134–139 [in Ukrainian].
 14. Kyrylenko, V.V., Dubovyk, N.S., Humeniuk, O.V., Volohdina, H.B., Los, R.M., Dubovyk, D.Yu. (2021). Seleksiia pshenytsi miakoi ozymoi za vykorystannia pshenychno-zhytnikh translokatsii v umovakh tsentralnoho Lisostepu [Selection of soft winter wheat using wheat-rye translocations in conditions of the central forest-steppe]. Kyiv: Komprint, 221 p. [in Ukrainian].
 15. Zhupina, A.Yu., Basaliy, G.G., Usyk, L.O., Marchenko, T.Yu., Lavrynenko, Yu.O. (2021). Uspadkovuvannia vysoty roslyn hibrydamy pshenytsi ozymoi riznoho ekoloho henetychnoho pokhodzhenia v umovakh zroshennia [Inheritance of plant height by winter wheat hybrids of different ecological genetic origin under irrigation conditions]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian innovations*, no. 10, pp. 122–129. Retrieved from: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.10.19> [in Ukrainian].
 16. Vozhegova, R.A., Malyaruk, M.P. (2014). *Metodyka polovykh i laboratornykh doslidzhen na zroshuvanykh zemliakh [Methods of field and laboratory research on irrigated lands]*. Kherson: Hrin D.S., 286 p. [in Ukrainian].
 17. Saari, E.E., Prescott, J.M. (1975). A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases. *Plant Disease*, no. 59, pp. 377–380 [in English].
 18. Babayants, O.V., Babayants, L.T. (2014). *Osnovu selektsyy u metodolohiya otsenok ustoichyvosti pshentsu k vobzbydteliyam boleznei [Fundamentals of selection and methodology for assessing the resistance of wheat to pathogens]*. Odesa: VMV, 401 p. [in Russian].
 19. Petrenkova, V.P., Borovskaya, I.Yu., Luchna, I.S., Sokol, T.V., Nyska, I.M., Kucherenko, E.Yu., Kompanets, K.V. (2018). *Metodolohiia vydilennia form polovykh kultur za stiikistiu do kompleksu bio- ta abiotychnykh chynnykiv [Methodology of selection of forms of field crops by resistance to complex of bio- and abiotic factors]*. Kharkiv: FOP Brovin, 242 p. [in Ukrainian].

Жупина А.Ю., Базалій Г.Г., Усик Л.О., Марченко Т.Ю., Лавриненко Ю.О. Успадкування стійкості до борошністої роси (*Blumeria graminis* F. sp. *tritici* Bgt.) гібридами пшениці озимої різного еколого-генетичного походження в умовах зрошення

Мета статті – визначити характер успадкування ознаки «стійкість (ураженість) до борошністої роси» в гібридів пшениці м'якої озимої, що створені із залученням пізньостиглих зразків західноєвропейського еко типу, а також встановити кореляції стійкості до борошністої роси з тривалістю міжфазного періоду «цвітіння – стиглість зерна» та урожайністю зерна елітних селекційних сімей. **Методи.** Польові дослі-

дження проведені в Інституті зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України у 2016–2021 рр. Об'єктом досліджень були сучасні сорти пшениці озимої селекції Інституту зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України, колекційні зразки західноєвропейського еко типу, що були інтродуковані з Франції (номера реєстрації Кф №...-16), та гібриди, створені за їх участю. **Результати досліджень.** Стійкість до борошністої роси батьківських компонентів інтродукованих зразків коливалася в межах 65,7...90,3%. Більшість інтродукованих сортозразків поступалася вітчизняним за стійкістю, що може бути пов'язано з більшою тривалістю періоду вегетації та подовженням термінів інфекційного навантаження в цей період. Найбільша стійкість до борошністої роси західноєвропейських сортів спостерігалася в Кф5-16, Кф2-16, що відповідало рівню стійкості вітчизняних сортів Овідій, Леда. Серед вітчизняних сортів найбільшою стійкістю характеризувалися сорти Овідій, Леда (91,2...91,3%), ці сортозразки характеризуються як «стійкі» (75...90%) та займають середнє положення між «високою стійкістю» (90...100%) і «слабкою сприйнятливістю» (60...75%). Гібриди першого покоління (F₁) успадковували ознаку переважно за проміжним типом та домінуванням стійкості. Істинний гетерозис проявили 2 комбінації з 12, при цьому ступінь гетерозису був дуже низьким (100,3...102,0%), що вказує на полігенний тип успадкованості та відсутність ефекту кумулятивної дії алелів стійкості й гетерозисного ефекту. **Висновки.** Проведення оцінок відібраних сімей за ураженістю (стійкістю) борошністою росю (*Blumeria graminis* F. sp. *tritici* Bgt.) у гібридних популяціях пшениці м'якої озимої, термінами проходження фаз розвитку та урожайністю зерна в селекційних розсадниках дали змогу з'ясувати рівень зв'язків окремих ознак та визначити найбільш вагомі маркерні для проведення доборів і корегування моделі сорту.

Ключові слова: пшениця озима, гібриди, борошніста роса, ураженість, стійкість, урожайність зерна.

Zhupina A.Yu., Bazaliy G.G., Usyk L.O., Marchenko T.Yu., Lavrynenko Yu.O. Inheritance of resistance to mildew (*Blumeria graminis* F. sp. *tritici* Bgt.) hybrids of winter wheat of various ecological and genetic origin under irrigation

The purpose of the article is to establish the nature of the inheritance of the trait “resistance (damage) to powdery mildew” in hybrids of soft winter wheat, created with the help of late-maturing specimens of the Western European ecotype, and also to establish correlations of resistance to powdery mildew with the duration of the interphase period “flowering – grain ripeness” and grain yield of elite breeding families. **Methods.** Field studies were conducted at the Institute of Irrigated Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine in 2016–2021. The object of research was modern varieties of winter wheat of the Institute of Irrigated Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, collection samples of Western European ecotype, which were introduced from France (registration numbers Kf №...-16) and hybrids created with their participation. **Results.** Resistance to powdery mildew of the parent components of the introduced samples ranged from 65.7 to 90.3%. Most of the introduced cultivars were inferior to domestic ones in terms of resistance, which may be due to the longer vegetation period and the extension of the infectious load during

this period. The greatest resistance to powdery mildew of Western European varieties was observed in Kf5-16, Kf2-16, which corresponded to the level of resistance of domestic varieties Ovid, Ledia. Among domestic varieties, the varieties Ovidii and Ledia were characterized by the highest resistance (91,2...91,3%), such varieties are characterized as "stable" (75...90%) and occupy the middle position between "high resistance" (90...100%) and "weak susceptibility" (60...75%). Hybrids of the first generation (F₁) inherited the trait mainly by intermediate type and dominance of resistance. True heterosis was shown by 2 combinations out of 12, and the degree of heterosis was

very low (100,3...102,0%), which indicates a polygenic type of heredity and no effect of cumulative action of resistance alleles and heterosis effect. **Conclusions.** Assessments of selected families for powdery mildew (resistance) to powdery mildew (*Blumeria graminis* F. sp. Triticum Bgt.) in hybrid populations of soft winter wheat, timing of development phases and grain yield in breeding nurseries allowed to determine the level of links between individual characteristics and identify the most important markers for selection and adjustment of the model variety.

Key words: winter wheat, hybrids, powdery mildew, infestation, stability, grain yield.