

СЕЛЕКЦІЙНА ЦІННІСТЬ НОВИХ генетичних джерел стійкості пшениці до грибних і вірусних хвороб

Мета. Оцінка за продуктивністю та показниками якості кращих удосконалених інтрогресивних ліній пшениці з різним рівнем стійкості до грибних і вірусних хвороб. **Методика.** Польові дослідження проводили на дослідних полях Селекційно-генетичного інституту — Національного центру насіннезнавства та сортівивчення НААН у 2020—2024 рр. Використовували 18 інтрогресивних ліній різного походження. Лінії досліджували за показниками врожайності, вмісту білка, рівня седиментації та стійкості до іржастих хвороб, борошністої роси, септоріозу листя і вірусу жовтої карликовості ячменю (BYDV) загальноприйнятими методами. Результати досліджень обробляли методом дисперсійного аналізу. В якості контролю були залучені сорти, які найбільш розповсюджені на півдні України та є зональними стандартами врожайності і адаптивності. **Результати.** Досліджені інтрогресивні лінії продемонстрували різні реакції на ураження хворобами. Більшість ліній були стійкими до видів іржі, але уражувалися BYDV і септоріозом. У окремих ліній спостерігали високу групову стійкість до хвороб, яку забезпечувала комбінація пшеничних і чужинних генів стійкості. За врожайністю досліджені лінії в переважній більшості поступалися найбільш продуктивним сортам-стандартам (Куяльник і Щедристь) на 3,6—28,5%, але переважали чи мали однакову врожайність, порівняно з двома іншими стандартами (Годувальниця і Колонія). Виділено окремі лінії, які стабільно по роках мали врожайність на рівні найбільш урожайних стандартів. З досліджених ліній майже половина, незалежно від року, накопичували білка більше, ніж стандарти, проте поступалися стандартам за значеннями збору білка через нижчу врожайність. **Висновки.** За результатами досліджень встановлено значний позитивний вплив чужинних генів стійкості до хвороб на вміст білка, масу 1000 зернин та седиментацію.

¹І.І. МОЦНИЙ,
кандидат біологічних наук

¹Я.С. ФАНІН,
доктор філософії

¹О.О. МОЛОДЧЕНКОВА,
доктор біологічних наук

¹М.С. БАЛЬВІНСЬКА,
кандидат біологічних наук

²А.В. ДАЩЕНКО,
кандидат сільськогосподарських наук

²І.А. МІЩЕНКО,
кандидат економічних наук

³А.А. ДУНІЧ,
кандидат біологічних наук

³Л.Т. МІЩЕНКО,
доктор біологічних наук

¹Селекційно-генетичний інститут —
Національний центр насіннезнавства
та сортівивчення НААН,
Овідіопольська дорога, 3, м. Одеса,
65036, Україна

²Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
вул. Горіхуватський шлях, 19, м. Київ,
03040, Україна

³Київський національний
університет імені Тараса Шевченка,
вул. Володимирська, 64/13, м. Київ,
01601, Україна

Досліджені лінії можна розглядати як донори господарсько-цінних ознак та залучати в селекційні програми для покращення пшениці.

пшениця м'яка озима (*Triticum aestivum* L.); врожайність; стійкість до хвороб; якість зерна; віддалена гібридизація

Головним завданням виробництва є отримання високих врожаїв зерна пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) хорошої якості, в досягненні чого провідну роль відіграє сорт [1]. Сучасна селекційна парадигма розглядає

урожайність як похідну двох компонентів — продуктивності й адаптивності. У цьому контексті адаптивність — як здатність сорту забезпечувати високу врожай у сприятливих умовах та незначне їх зменшення у несприятливі роки, стійкість проти хвороб і несприятливих кліматичних чинників — є метою селекції [2]. Створення стійких до грибних і вірусних хвороб сортів є перспективним напрямом селекції пшениці озимої, який дає значний економічний ефект та зменшує хімічне навантаження на довкілля [3]. На жаль, ефективність більшості відомих генів стійкості, так чи інакше, долається. Тому пошук нових джерел стійкості набуває актуальності, особливо в останні роки, коли внаслідок змін клімату спостерігається зміна расового складу і вірулентності збудників хвороб [4–6].

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є схрещування віддалених видів з високоврожайними сортами, що робить можливим отримання принципово нових генотипів [7–9]. Вже вдалося передати у пшеницю ознаки стійкості до хвороб [10, 11] і шкідників [12], посухо-, морозо- і солестійкості [13, 14]. Однак лінії, отримані шляхом міжвидової гібридизації, зазвичай поступаються батьківським формам і стандартам, особливо за продуктивністю, масою 1000 зернин, вмістом білка та іншими ознаками [15, 16]. Це має кілька пояснень, зокрема неефективні процеси інтрогресії та цитологічну або генетичну нестабільність інтрогресивного матеріалу. В схрещуваннях з видами, що не мають спільних з пшеницею

геномів, можливість інтрогресії внаслідок аллосиндезу значно нижча, ніж шляхом злиття продуктів неправильного поділу хромосом в анафазах [17]. Тому, необхідна штучна індукція рекомбінаційних обмінів між пшеничними і чужинними хромосомами шляхом супресії системи диплоїдизації пшениці із застосуванням *ph*-мутантів [18, 19].

Схрещування з видами, які мають однаковий з пшеницею геном, особливо з донором геному *D Aegilops tauschii* Coss., видаються більш перспективними, оскільки завдяки йому пшениця м'яка набула високих хлібопекарських властивостей, хорошої адаптивності та інших позитивних характеристик, які роблять її найважливішою хлібною культурою в світі [20]. Цей геном також пов'язаний з низкою негативних рис, які потребують поліпшення, включаючи сприйнятливості до грибних хвороб і низький вміст білка в зерні. Використання 42-хромосомних амфіплоїдів, одержаних від схрещування тетраплоїдних видів пшениці з *Ae. tauschii*, дає можливість перенести в геном пшениці не лише окремі гени якісних ознак егілопса, але й цілі полігенні системи, що контролюють кількісні ознаки, такі як стійкість до хвороб шляхом звичайної гомологічної кон'югації хромосом з *D*-геномів пшениці та дикого виду [21]. В результаті віддаленої гібридизації низки первинних інтрогресивних ліній, синтетичних амфіплоїдів та колекційних зразків різного походження з сучасними сортами Селекційно-генетичного інституту — Національного центру насіннезнавства та сортивчення НААН (СГІ — НЦНС) після численних беккросів та багаторічних індивідуальних доборів за наявністю чужинних ознак одержано та перевірено в польових умовах сукупність удосконалених ліній пшениці різних комбінацій та ступенів селекційної проробки [15, 16].

Метою досліджень була оцінка за продуктивністю та показниками якості кращих удосконалених інтрогресивних ліній пшениці з

різним рівнем стійкості до грибних і вірусних хвороб.

Матеріали та методи досліджень. Матеріалом для дослідження були інтрогресивні лінії різного походження (табл. 1) з ознаками стійкості до низки грибних і вірусних хвороб, отримані в результаті 3—10 схрещувань сучасних, високопродуктивних, адаптованих до місцевих умов сортів з колекційним зразком Н74/90-245, первинними інтрогресивними лініями, амфіплоїдом (*T. dicoccum* Schuebl. / *Ae. tauschii*) та мексиканськими елітними синтетиками (*T. durum* Desf. / *Ae. tauschii*) [15, 16].

З метою кращого вивчення агробіологічних особливостей новостворених ліній було підібрано контрастні сорти-стандарту для порівняння: Куяльник та Годувальниця — середньорослі сорти, носії алелів високої хлі-

бопекарської якості борошна (СГІ — НЦНС); Щедрість — низькорослий сорт, носій пшенично-житньої транслокації 1BL.1RS (СГІ — НЦНС), Дума (СГІ — НЦНС) та Новосмуглянка (Інститут фізіології рослин і генетики) — низькорослі сорти, носії пшенично-житньої транслокації 1AL.1RS; представник закордонної селекції — сорт Колонія (французька компанія «Лімагрейн»).

Дослідження проводили на дослідній ділянці відділу селекції та насінництва пшениці СГІ—НЦНС у період 2020—2024 рр. Висівали в оптимальні для півдня України строки, по чорному пару, на виробничому агрофоні (N60 кг/га д.р.) азотних добрив (NH₄NO₃), обліковими ділянками 6 м², у 3-разовій повторності. Фітопатологічну оцінку здійснювали в польових умовах на фоні

1. Походження досліджених інтрогресивних ліній з чужинними ознаками

Лінія*	Різновид	Походження матеріалу**	Ознаки***	
NIL2B ₁₀	<i>Erythrosperrum</i>	Од.267 / ПЕАГ // Од.267 ¹⁰ F ₇	—	
NIL6B ₁₀		Од.267 / E124/03 // Од.267 ¹⁰ F ₇	Hs	
H242/97-2	<i>Hostianum</i>	АД825/ <i>T. durum</i> Чорномор F ₃ // H74/90-245 F _∞	Hg Hl ^{up} _{low}	
AIL379/18	<i>Erythrosperrum</i>	Куяльник /4/ (Од.267 / H74/90-245 // Од.267 ⁴ /3/ Селянка F ₇) F ₄ /5/ Зміна F ₆	—	
AIL96PH18		Од.267/ E200/97-2 // Од.267 ¹⁰ /3/ Куяльник F ₅	—	
AIL327/18		E200/97-2 / Од.267 ⁴ // Никонія F _∞	Hl ^{up} _{low}	
E175/09		Куяльник /4/ (Од.267/H74/90-245 // Од.267 ⁴ /3/ Селянка F ₇) F ₆	—	
AIL341/18		Од.267 // OH232/03 / Од.267 /3/ Од.267 ³ F _∞	—	
E1598/12		Селянка / ES4 F ₂ // Од.267 F ₆	lw	
PIL799/16		Селянка / ES17 F ₂ // Од.267 F ₄ /3/ Ватажок F ₆	—	
PIL634/18		Селянка / ES20 F ₂ // Од.267 F ₆	—	
E1089/13		<i>Ferrugineum</i>	Селянка / ES20 F ₂ // Од.267 F ₄ /3/ Віген F ₅	Bg
PIL690/18		<i>Erythrosperrum</i>	Селянка / ES20 F ₂ // Од.267 F ₅ /3/ Гурт F ₆	Pc lw
PIL355PH18	<i>Ferrugineum</i>	Селянка / ES20 F ₂ // Селянка F ₆	Bg Pc	
F2681/14	<i>Erythrosperrum</i>	Селянка / ES20 F ₂ // Селянка F ₄ /3/ Віген F ₅	Pc lw	
PIL747/18		Селянка / ES25 F ₂ // Альбатрос F ₇	Pc	
PIL814/13		Віген / Од.267 // Селянка F ₆	—	
E2778/14				

Примітки:

- * — E — Еритроспермум, F — Феругінеум, H — Гостіанум, NIL — майже ізогенна лінія, PIL — примітивна інтрогресивна лінія, AIL — удосконала інтрогресивна лінія, PH — лінія з карантинної ділянки відділу фітопатології;
- ** — E200/97-2 і E124/03 — тритикале АД825 / *T. durum* Чорномор F₃ // H74/90—245 F_∞; АД825 — *T. aestivum* Гостіанум 237 / жито ВСГІ, 2n=56, AABBDDRR; H74/90-245 — Tom Pouce Blanc / АД(*T. timopheevii* x *Ae. tauschii* ssp. *strangulata*) // Аврора /3/ Русалка; ПЕАГ — АД(*T. dicoccum* x *Ae. tauschii*), 2n=42, AABBDD; OH232/03 — Од.267 / H74/90-245 F_∞; ES4, ES17, ES20 і ES25 — елітні синтетики *T. durum* Altar 84 / *Ae. tauschii* (відповідно, WX193, WX220, WX221 і WX225 за каталогом СУММІТ, Мексика), 2n=42, AABBDD;
- *** — Hs — опушення стебла, Hg — опушення колоса, Hl^{up}_{low} — опушення листкової пластинки зверху і знизу, lw — відсутність воскового нальоту, Bg — коричневе забарвлення колоса, Pc — антоціанове забарвлення стебла.

природних епіфітотій борошністої роси (*Blumeria graminis* (DC) Speer f. sp. *tritici* March.), листкової іржі (*Puccinia triticina* Erikss. and Henn.), жовтої іржі (*Puccinia striiformis* West.), септоріозу (*Septoria tritici* Rob. ex Desm.) та вірусу жовтої карликовості ячменю, barley yellow dwarf virus (BYDV) в період максимального розвитку хвороби. Крім того, матеріал оцінювали на штучному інфекційному фоні стеблової іржі (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Erikss. and Henn.) у карантинному розсаднику відділу фітопатології і ентомології СГІ — НЦНС (рис. 1).

Ступінь стійкості дорослих рослин визначали за інтенсивністю ураження за 9-бальною уніфікованою інтегрованою шкалою: 9 балів — дуже високий рівень стійкості, ураження рослин відсутнє; 1 бал — дуже висока сприйнятливість, рослини уражені на 100% і т. д. [3].

Наявність BYDV у лініях

визначали методом імуноферментного аналізу (модифікація DAS-ELISA) із використанням антитіл до зазначеного вірусу фірми Loewe (Німеччина) згідно з рекомендаціями виробника, у трьох повторностях. Результати ферментативної реакції реєстрували на рідері Termo LabSystems Opsis MR (США) при довжині хвилі 405/630 нм. Зразок, оптична густина якого перевищувала значення негативного контролю щонайменше у три рази, вважався позитивним [22].

Загальний вміст білка/азоту визначали методом К'ельдаля на автоматичному аналізаторі Kjeltex Auto 1030 («FOSS») [23], а масу тисячі зернин (МТЗ) — за загальноприйнятною методикою [24]. Рівень седиментації визначали методом із попереднім автолізом, зокрема, методом SDS-30 [25]. Досліджуючи показники якості ліній розраховували додатковий критерій білковості —

«Збір білка на одиницю площі» = («Урожайність, ц/га» × «Вміст білка, %»)/100%. Його застосування дає можливість нівелювати певною мірою дисперсію ознаки, зумовлену варіаціями продуктивності рослини під впливом екологічних умов.

Дані опрацьовували за допомогою дисперсійного аналізу. Для порівняння середніх значень (\bar{X}) використовували найменшу істотну різницю при рівні статистичної значущості $p < 0,05$ ($НІР_{0,05}$). Індекс посухостійкості розраховували як частку врожайності в сезон гострої посухи 2021/22 р. відносно врожайності в задовільний сезон 2020/21 р.: «Індекс посухостійкості», % = («Урожайність зерна в 2022 р.», ц/га / «Урожайність зерна у 2021 р.», ц/га) × 100%. Індекс, який розраховується за цією формулою, прямо пропорційний рівню стійкості до посухи [26, 27].

Як правило, ураження бурюю іржею з'являлися наприкінці квітня, інфекція борошністої роси була присутня на посівах як з осені, так і навесні. Поширення інфекції септоріозу в сприятливий для нього роки спостерігалось у фазі молочної стиглості. Осінь, практично всіх років дослідження, була сприятлива для льоту попелиць, а весна — для розвитку ВЖКЯ на рослинах пшениці озимої. Найпоширенішими штамми в популяції ВЖКЯ були RPV, RMV і PAV, з них останній домінував у більшості років (О.В. Бабаянц, 2024, особисте повідомлення). Таким чином, без штучної інокуляції рослин вдалося диференціювати генотипи і виділити лінії, стійкі на природному тлі.

Результати та обговорення.

Новостворені лінії відрізнялися широким спектром реакцій на ураження хворобами і, нерідко, істотно перевершували сорти-стандарту. Польова оцінка стійкості рослин до борошністої роси та іржастих хвороб показала розмах варіації від вкрай сприйнятливих ліній до стійких (табл. 2). З усіх грибних захворювань, які уражують листки рослин та спричиняють значні



Рис. 1. Посів матеріалу на штучному інфекційному фоні у карантинному розсаднику: а — праворуч довга смуга накопичувача, а зліва, перпендикулярно до неї — інтрогресивні лінії; б — ураження рослин накопичувача стебловою іржею; в — стійка до видів іржі лінія E1598/12

щорічні втрати врожаю пшениці (до 20—80%), ці вважаються найважливішими [28].

Вочевидь, у матеріалі присутні різні генетичні системи, які контролюють стійкість до різних хвороб. Відомо, що колекційний зразок Н74/90-245, лінія Н242/97-2 та вихідні лінії Е200/97-2 і ОН232/03 (табл. 1) мають пшенично-житню транслокацію 1BL.1RS [29] та зумовлений нею, малоефективний в сучасних умовах генний комплекс *Pm8/Lr26/Sr31/Yr9* [30]. Також відомо, що в сортах Одеська 267, Селянка, Куяльник, Гурт, Віген, що входять до родоводу досліджених ліній, присутній кластер генів помірної стійкості до низки фітопатогенів *Pm38/Lr34/Sr57/Yr18/Bdv1* [31]. Очевидно, взаємодія цих кластерів у певних умовах може забезпечувати якийсь рівень стійкості. На користь цього твердження свідчить прояв у польових умовах некрозу кінчиків листків (рис. 2 а) у переважній більшості стійких ліній, ознака, що тісно асоційована з кластером *Pm38/Lr34/Sr57/Yr18/Bdv1* і служить його морфологічним маркером [32]. Не виключено також можливе комбінування означених кластерів з іншими ефективними генами стійкості. Так чи інакше, поєднання різних генетичних систем у деяких ліній (напр. Н242/97-2, Е1598/12 та ін.) викликає стійкість до кількох збудників водночас (рис. 1 в), особливо у порівнянні зі стандартами та індикатором високої сприйнятливості — сортом Одеська напівкарликова (ОНК). Такі лінії мають особливу цінність як донори групової стійкості.

Лінії були перевірені на наявність BYDV із застосуванням ІФА. Результати аналізу показали, що десять ліній (NIL2B₁₀, NIL6B₁₀, PIL799/16, PIL634/18, E1089/13, F2681/14, PIL747/18, PIL814/13, E2778/14) і сорт Щедрість не містили антигенів вірусу, що корелює з даними польової оцінки стійкості, представленими у таблиці 2 (рис. 3).

Про циркуляцію ВЖКЯ на території України повідомлялося раніше [33, 34]. Спостереження

2. Стійкість (балів) до хвороб та індекс посухостійкості (ІП) ліній, 2021—2024 рр.

Лінія	PM*	LR	YR	SR	STB	BYDV	ІП, %
NIL2B ₁₀	3	6—8	3—4	2—3	3—5	6—7	86,1
NIL6B ₁₀	3	3—4	3—4	2—3	3—5	6—7	90,1
H242/97-2	6—7	8	6—7	7—8	5	4	81,9
AIL379/18	6—7	4—7	5—7	6—7	3	4	83,3
AIL96PH18	4—7	4—7	5—7	7—8	4	4	83,3
AIL327/18	5	3—4	4—7	5—6	4—5	4	86,8
E175/09	6—8	2—6	5—7	6—8	3—5	3—6	81,9
AIL341/18	4	6—7	4—7	6—8	4	4	85,4
E1598/12	6—8	6—8	6—7	7—8	4—5	4—6	94,0
PIL799/16	7	6—8	7—8	6—7	5—6	6	73,9
PIL634/18	3—4	4—7	3—7	6—7	3—7	7	80,9
E1089/13	3	7—8	7—8	1—2	4	6	85,4
PIL690/18	5—7	7—8	7	7	4	4	82,0
PIL355PH18	3—4	6	7	2	5	5	86,8
F2681/14	7	7—8	4—6	2	4	6	81,8
PIL747/18	4—5	6—7	4	7	4	6	82,0
PIL814/13	7	5—8	4—8	2—3	4—6	6	81,9
E2778/14	5—6	4—6	5—7	4—6	4	6	87,5
Куяльник	3—5	3—4	4—6	2—4	3—5	4—5	88,3
Щедрість	6	6—7(5)	5	6	5	6	91,8
Дума	6—7	5—6	4	4—5	3—4	5	84,7
Годувальниця	4	4	6	3	4	5	85,4
Новосмуглянка	6—7	5—6	4	4—5	3—4	5	89,3
Колонія	4	5	5	3	5	5	91,4
ОНК **	2—3	1—2	1—2	1	2	2	—

Примітки: * — PM, LR, YR, SR, STB, BYDV — відповідно, борошнеста роса, листкова, жовта і стеблова іржа, септоріоз і ВЖКЯ;
** — ОНК (Одеська напівкарликова), індикатор високої сприйнятливості до хвороб

за матеріалом виявили широку варіабельність ступеня ураження борошнистою россою і листковою іржею за роками, як інтервал стійкості (табл. 2). Можливо, це зумовлено змінами расового складу популяції патогенів, на

можливість чого вказують спеціальні дослідження фітопатологів [3-6]. Взагалі, більшість ліній сильно уражались септоріозом і BYDV (рис. 2 б, в), а окремі з них ще й борошнистою россою та видами іржі (табл. 2). Най-

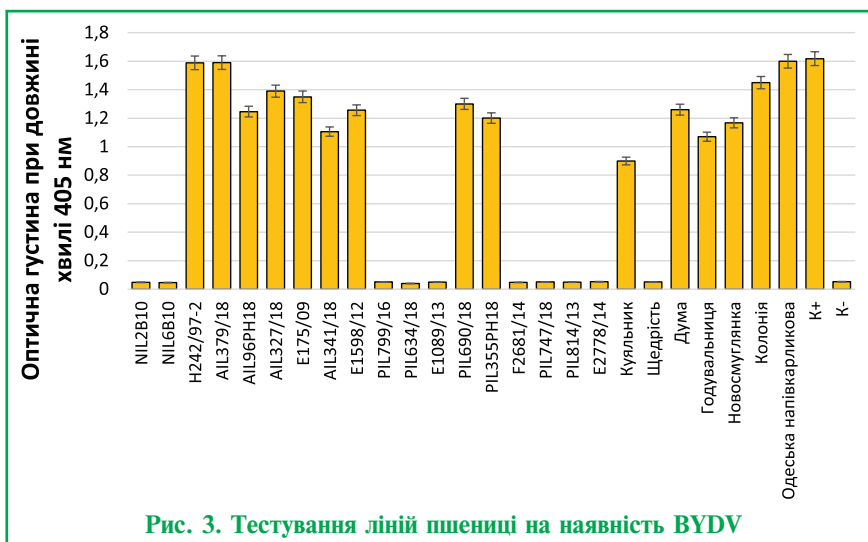


Рис. 3. Тестування ліній пшениці на наявність BYDV

більш постійною за роками була реакція ліній на стеблову іржу, що очевидно зумовлено наявністю штучного інфекційного фону хвороби (рис. 1 б) з однаковим расовим складом у різні роки [3]. Як правило, лінії, стійкі до стеблової іржі, проявляли стійкість і до листкової, але уражувалися жовтою іржею. Проте, виділено окремі лінії, що мають стійкість лише до одного виду іржі (напр. АІЛ327/18). Останнє не зовсім зрозуміло, оскільки, як відомо з літератури [35], між генами *Lr26*, *Sr31* і *Yr9* (складовими транслокації 1BL.1RS) рекомбінація не відбувається. Тому, поява таких ліній нашоує на припущення про можливість детермінації стійкості іншими чинниками, окрім транслокації 1BL.1RS.

Вихідні лінії мають у родоводі амфіплоїд AD (*T. timopheevii* х *Ae. tauschii*) із Болгарії [27, 29], тому ймовірно, що окремі гени стійкості походять від його складових. Цей факт потребує подальшого детального дослідження, зокрема із залученням більш досконалих молекулярно-генетичних методів для ідентифікації інтрогресованих генів стійкості. Адже відомо, що генний комплекс *Pm8/Lr26/Sr31/Yr9* малоефективний у сучасних умовах [3-6]. З іншого боку, присутність в матеріалі транслокації 1BL.1RS погіршує силу борош-

на та пружність тіста, що значно скорочує її поширення в Україні, де дріжджовий хліб є головним кінцевим продуктом, що виготовляється із зерна пшениці [36]. Також, виділено лінії, які характеризувались константністю та поєднували в собі стійкість до кількох хвороб з опушенням листка (Н242/97-2, 175/09).

Лінії Н242/97-2 та 175/09 з ознакою опушення листка мали високу її експресію на всіх фазах онтогенезу аж до дозрівання. Як правило, присутність довгих, досить густих щетинок спостерігалась зверху, знизу і по краю листкової пластинки переважно на нижніх листках (детермінант ознаки ми умовно позначили як ген *Hl^{up}_{low}*). В окремих випадках чужинне опушення верхньої поверхні листка важко було відрізнити від слабкого опушення, властивого сортам пшениці озимої у фазі трубкування-колосіння. Оскільки від схрещування з сортами пшениці вищеплюються гібриди зовсім без опушення, а всі зразки *T. timopheevii* мають подібне опушення листка, на противагу окремим зразкам *Ae. tauschii* з опушенням лише по краю листкової пластинки, можна припустити, що умовний ген *Hl^{up}_{low}* не алельний гену *Hl* м'якої пшениці (4BL хромосома [30]) і походить від *T. timopheevii*.

Ознака вважається ефективним захистом пшениці від листкогризучих шкідників (попелиця, хлібні блішки, п'явиця) та посухи [36], а також може служити додатковим чинником стійкості до переносників вірусних хвороб. Відомо, що опушення листка — це ксероморфна ознака, властива рослинам сухих місць поширення, яка забезпечує стійкість до дефіциту вологи в повітрі за рахунок зниження інтенсивності транспірації і затримки руху гарячого повітря безпосередньо біля поверхні опушених листків. Опушені листкові поверхні краще затримують вологу від дощу і ранкових рос [37]. До того ж, опушення листка, як й інші чужинні якісні ознаки (опушення або коричневий колір колоса, опушення стебла та ін., (табл. 1) можуть слугувати морфологічними маркерами для розпізнавання ліній в полі у випадку засмічення або переплутання матеріалу.

В усіх без виключення ліній загальна врожайність у 2020/21 р. була вищою, ніж у 2021/22 р. (табл. 2 і 3), що відповідає літературним даним [16]. Частка врожайності зерна у 2021/22 р. від урожайності у 2020/21 р. (індекс посухостійкості) варіювала від 73,9% (PIL799/16) до 94,0% (E1598/12) для дослідних ліній і від 84,7% до 91,8% для стандар-



Рис. 2. Прояви: а — некрозу кінчиків листків (морфологічного маркера генного кластера *Pm38/Lr34/Sr57/Yr18/Bdv1*); б — уражень септоріозом (*Septoria tritici*); в — уражень вірусом жовтої карликовості ячменю (BYDV)

тів (табл. 2). Такі високі значення індексу посухостійкості зумовлені схожими умовами років, що порівнюються. Найгірша посухостійкість виявлена у примітивної лінії PИL799/16, яка має у родоводі найменш пристосований до місцевих умов синтетик ES4 (табл. 1). Водночас, 44,4% ліній мали індекс посухостійкості на рівні стандартів. Лінія E1598/12 мала відносно низьку урожайність у 2020/21 р. (56,7 ц/га) і посередню у 2021/22 р. (53,3 ц/га). Хоча індекс посухостійкості визначається, головним чином, врожайністю в посушливих умовах 2021/22 р., він також обернено пропорційний до значень урожайності за більш сприятливих умов [16]. Тому, менш урожайні у більш сприятливому 2020/21 р. лінії менше знижували врожайність у гостро посушливому 2021/22 р. і, помилково, були класифіковані як більш стійкі до посухи. Отже, при визначенні посухостійкості матеріалу необхідно враховувати і його врожайність у сприятливих умовах. За цією ознакою найбільше виділяється сорт-стандарт Щедрість, який мав водночас найвищу урожайність і посухостійкість (табл. 3).

При дослідженні інтрогресивного матеріалу важливо звертати увагу не лише на експресію чужинної резистентності, яка, зокрема, у стійкості до хвороб може проявлятися більш яскраво, ніж у стандартів, а й на показники агрономічних і селекційно-цінних ознак інтрогресивних ліній, перш за все врожайності. В середньому за роки дослідження врожайність ліній варіювала від 40,9 до 55,7 ц/га і суттєво поступалась урожайності найпродуктивніших стандартів Куяльник і Щедрість (57,2 і 57,8 ц/га, відповідно). Все ж найурожайніші лінії переважали за середніми значеннями врожайності інші сорти-стандарті, наприклад Колонію (в середньому за роки дослідження — 49,9 ц/га), Годувальницю (49,2) та іноді навіть Думу (53,8 ц/га) (табл. 3).

Вміст білка є одним з основних показників якості зерна, якому приділяється особлива увага за оцінювання селекційного ма-

теріалу. В середньому, за роки дослідження вміст білка у інтрогресивних ліній варіював від 10,6 до 12,9% (табл. 3), при найвищих значеннях у ліній PИL814/13 (12,9%) та PИL747/18 (12,8%). У сортів-стандартів середній вміст білка варіював у межах 10,3—11,6%, за найвищих показників у сорту Куяльник. Найбільш високобілкові інтрогресивні лінії переважали стандарти за вмістом білка в середньому на 2,6—1,2% (при $НІР_{0,05} = 0,5\%$, табл. 3).

Збір білка у інтрогресивних ліній варіював від 4,86 до 6,76 ц/га і, за виключенням двох ліній (AИL379/18 та AИL96PH18), вірогідно поступався показнику сорту Куяльник (6,97 ц/га), який характеризувався водночас високою урожайністю і білковістю (табл. 3). Значно поступалась за збором білка стандартам Куяльник, Щедрість і Новосмуглянка і найбільш високобілкова лінія PИL814/13 через її низьку вро-

жайність. Однак, за абсолютними значеннями ознаки лінія перевершувала Годувальницю і Колонію. Крім того, лінія PИL814/13 мала найвищу по досліді MT3 та седиментацію SDS-30.

У дослідженні матеріалу стояло завдання виділити стійкі до хвороб лінії з комплексом господарсько-цінних ознак, зокрема спроможні формувати повноцінне зерно за ознаками його виповненості, MT3 та білковості. Відомо, що ступінь виповненості зерна впливає на величину загального вмісту білка в ньому, особливо при віддаленій гібридизації [16, 27]. Виявилось, що незалежно від років вирощування більшість інтрогресивних ліній мало відрізнялися від стандартів за середніми значеннями MT3, але проявляли слабку тенденцію до збільшення загального вмісту білка (табл. 3). Водночас були виділені лінії, передусім це PИL814/13 та PИL799/16, які за

3. Середні значення досліджених ознак у інтрогресивних ліній та сортів-стандартів, 2021—2024 рр.

Лінія, сорт	Дата колосіння, травень	Висота рослин, см	Урожайність, ц/га	Вміст білка, %	Збір білка, ц/га	Маса 1000 зернин, г	Седиментація SDS-30, мл
NIL2B ₁₀	14,7	93,5	44,1	11,1	4,86	38,8	70,0
NIL6B ₁₀	15,2	96,8	52,0	10,7	5,49	37,9	60,7
H242/97-2	15,7	97,2	46,5	11,6	5,35	40,1	57,4
AИL379/18	15,2	77,5	54,6	12,5	6,76	34,8	66,9
AИL96PH18	13,2	86,3	55,7	12,1	6,68	37,5	60,6
AИL327/18	12,8	82,5	52,0	10,6	5,50	37,9	58,0
E175/09	14,0	80,2	40,9	11,9	4,88	35,5	66,6
AИL341/18	13,3	85,2	47,0	11,5	5,38	35,9	65,3
E1598/12	10,5	85,8	45,8	11,9	5,71	35,6	66,6
PИL799/16	15,3	108,0	46,4	12,6	5,76	40,1	73,6
PИL634/18	13,8	78,3	50,5	11,8	5,86	37,3	59,5
E1089/13	10,4	92,0	49,3	11,1	5,44	37,3	61,2
PИL690/18	12,0	96,0	48,2	12,3	5,78	38,3	61,3
PИL355PH18	11,7	92,0	47,2	11,4	5,36	42,3	67,5
F2681/14	11,6	99,5	42,4	12,3	5,24	37,9	56,8
PИL747/18	11,5	99,2	45,1	12,8	5,60	39,0	72,2
PИL814/13	15,8	107,3	45,1	12,9	5,73	45,2	74,3
E2778/14	13,5	86,7	49,2	10,8	5,29	41,6	53,0
Куяльник	12,0	87,0	57,2	11,6	6,97	37,1	57,5
Щедрість	12,7	84,0	57,8	10,9	6,56	37,6	36,6
Дума	10,8	85,5	53,8	10,3	5,77	35,6	42,0
Годувальниця	12,5	88,7	49,2	10,5	5,21	35,8	61,0
Новосмуглянка	11,5	86,2	55,6	11,0	6,14	38,9	27,7
Колонія	11,5	87,0	49,9	10,6	5,57	36,3	47,3
$НІР_{0,05}$	1,4	7,1	1,9	0,5	0,35	0,9	3,5

умови формування МТЗ значно вище стандартів, забезпечували також вірогідно вищий загальний вміст білка. На жаль, ці лінії пізньостиглі, відносяться до екстенсивного типу з висотою рослин 107–108 см, посереднім зовнішнім виглядом, поганим обмолотом зерна, жорсткістю колоскових і квіткових лусок та суттєво нижчою, ніж у стандартів, урожайністю (табл. 3).

Визначення показника седиментації у інтрогресивних ліній та сортів-стандартів дозволило встановити, що найвищий рівень седиментації був у інтрогресивних ліній, які характеризувалися високим вмістом білка (табл. 3). Хоча, залежно від року дослідження, це були переважно різні лінії, все ж окремі лінії (PIL814/13, NIL2, PIL799/16 і PIL747/18) стабільно за роками виділилися за цим показником. Наявність пшенично-житніх транслокацій (1BL.1RS і 1AL.1RS) значно знижує показники седиментації [36]. Оскільки в нашому досліді були сорти-стандарт з цими транслокаціями (Щедрість, Дума, Новосмуглянка), показник їхньої седиментації поступався на 20–25 мл сортам без транслокацій. В такому випадку, кращі експериментальні лінії доцільно порівнювати зі стандартами без транслокацій (Куяльник і Годувальниця). У досліджених інтрогресивних ліній середній показник седиментації варіював в межах 53,0–74,3 мл, різниця між кращими лініями і стандартами становила 16,8–9,0 мл при $НІР_{0,05} = 3,5$ мл.

ВИСНОВКИ

Вивчені у даному дослідженні інтрогресивні лінії відрізнялися широким спектром реакцій на ураження хворобами; більшість ліній були стійкими до видів іржі, але уражувались BYDV і септоріозом. Стійкість до різних хвороб контролюється різними генетичними системами, комбінування яких, а також комбінування пшеничних генів з чужинними ефективними генами стійкості, забезпечує високу групову стійкість до кількох хвороб у окремих ліній

(H242/97-2, 175/09, E1598/12 та ін.). Інтегровані в геном пшениці чужинні морфологічні ознаки (опушення колоса, листка або стебла, коричневий колір колоса, відсутність воскового нальоту та ін.) можуть слугувати фенотиповими маркерами для розпізнавання ліній у полі.

Посуха значно зменшила урожай зерна, проте схожі умови років, що порівнювалися, зумовили високі значення індексу посухостійкості (73,9–94,0%). Найвищий індекс мала лінія E1598/12, яка характеризувалась низькою урожайністю у відносно сприятливому 2021 р. Сорт-стандарт Щедрість мав водночас найвищу урожайність і посухостійкість в цілому по досліді. Інтрогресивні лінії в переважній більшості поступалися на 3,6–28,5% за врожайністю високопродуктивним сортам-стандартам Куяльник та Щедрість, але переважали чи мали однакову врожайність з іншими сортами-стандартами, такими як Годувальниця і Колонія. Окремі лінії (A1L96PH18, E1089/13) стабільно за роками мали результат урожайності на рівні, а то й вище, ніж найбільш урожайні сорти-стандарт.

Майже половина досліджених ліній були спроможні накопичувати білка більше, ніж стандарти, проте поступалися стандартам за значеннями збору білка через низьку урожайність. Лінія E1598/12 мала високу білковість, збір білка і седиментацію вищі, ніж у стандартів, також максимальний індекс посухостійкості, високу стійкість до всіх видів іржі та борошністої роси. Ще кілька ліній (NIL2, A1L379/18, E1089/13, PIL690/18 та PIL814/13), незалежно від року, мали вищий рівень седиментації, ніж сорти-стандарт. Лінії, що мали високий вміст білка та масу 1000 зернин, відносяться до екстенсивного типу з низькою урожайністю. При цьому лінія PIL814/13, яка мала найвищі по досліді МТЗ, загальний вміст білка та седиментацію, характеризувалась стійкістю до борошністої роси, листової і жовтої іржі та вірусу жовтої карликовості ячменю (ВЖКЯ).

Фінансування: дослідження виконано за фінансової підтримки в рамках проекту НФДУ № 2023.03/0244 «Механізми стійкості економічно важливих культур до вірусних хвороб в умовах воєнного стану та глобального потепління» за конкурсом «Передова наука в Україні».

Конфлікт інтересів: автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Литвиненко М.А. 100 років розвитку селекційних програм пшениці м'якої озимої. Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. 2016. Т. 31. № 2. С. 75–82. doi: 10.21498/2518-1017.2(31).2016.70324
2. Литвиненко М.А. Створення сортів пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.), адаптованих до змін клімату на Півдні України. Збірник наукових праць СГІ — НЦНС. 2016. Вип. 27 (67). С. 36–53.
3. Бабаянц О.В. Основи селекції і методологія оцінки стійкості пшениці до збудників хвороб. Одеса: ВМВ, 2014. 401 с.
4. Babayants O.V., Babayants L.T., Traskovetskaya V.A. et al. Race composition of *Blumeria graminis* (DC) Speer f. sp. *tritici* in the South of Ukraine and effectiveness of *Pm*-genes in 2004–201. Cereal Research Communications. 2015. 43. № 3. P. 449–458. doi: 10.1556/0806.43.2015.011
5. Soko T., Bender C.M., Prins R., Pretorius Z.A. Yield loss associated with different levels of stem rust resistance in bread wheat. Plant Disease. 2018. V. 102. № 12. P. 2531–2538. doi: 10.1094/PDIS-02-18-0307-RE
6. Wellings C.R. Global status of stripe rust: a review of historical and current threats. Euphytica, 2011. V. 179. № 1. P. 129–141. doi: 10.1007/s10681-011-0360-y
7. Лифенко С.П., Нарган Т.П., Наконечний М.Ю. Інтрогресії в геном пшениці м'якої від різних донорів — проблемний, але перспективний напрям селекції. Селекція і насінництво. 2014. Вип. 105. С. 39–50. doi: 10.30835/2413-7510.2014.42043
8. Liu Ch., Han R., Wang X. et al. Research progress of wheat wild hybridization, disease resistance genes transfer and utilization. Scientia Agricultura Sinica. 2020. V. 53. № 7. P. 1287–1308. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2020.07.001
9. Sharma S., Schulthess A.W., Bassi F.M. et al. Introducing beneficial alleles from plant genetic resources into the wheat germplasm. Biology. 2021. V. 10. № 982. P. 1–38. doi: 10.3390/biology10100982
10. Бабаянц О.В., Сауляк Н.И., Бабаянц Л.Т. та ін. Новий вихідний селекційний матеріал пшениці (*Triticum aestivum* L.) для селекції на комплексну стійкість до фітопатогенів. Збірник наукових праць СГІ — НЦНС. 2016. Вип. 68. № 28. С. 68–75.
11. Ковалишина Г.М., Дмитренко Ю.М. Джерела стійкості до збудника бурі іржі та їх використання при створенні сортів м'якої пшениці. Вивчення та охорона сортів рослин. 2017. Т. 13. № 4. P. 379–386. doi: 10.21498/2518-1017.13.4.2017.117742
12. Bhatta M., Morgounov A., Belamkar V., Baenziger P.S. Genome-wide association study reveals favorable alleles associated with common bunt resistance in synthetic hexaploid wheat. Euphytica 2018. V. 214. № 11. P. 200–209. doi: 10.1007/s10681-018-2282-4

13. Reynolds M., Dreccer F., Trethowan R. Drought adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *Journal of Experimental Botany*. 2007. V.58. №2. P. 177-186. doi: 10.1093/jxb/erl25

14. Ahmadi J., Pour-Aboughadareh A., Ourang S.F. et al. Wild relatives of wheat: *Aegilops-Triticum* accessions disclose differential antioxidative and physiological responses to water stress. *Acta Physiologica Plantarum*. 2018. V. 40. № 5. P. 90-104. doi: 10.1007/s11738-018-2673-0

15. Motsnyi I.I., Molodchenkova O.O., Nargan T.P. et al. Impact of alien genes on disease resistance, drought tolerance, and agronomic traits in winter wheat commercial varieties. *The Open Agriculture Journal*. 2022. V. 16. P. 1-10. doi: 10.2174/18743315-v16-e2111260

16. Motsnyi I., Lytyvnenko M., Golub E. et al. Disease resistance and adaptation of winter wheat lines derived from wide hybridisation under arid environments. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2022. V. 109, № 3. P. 227-236. doi: 10.13080/z-a.2022.109.029

17. Sears E.R. Transfer of alien genetic material to wheat. In: L.T. Evans & W.J. Peacock (Eds), *Wheat Science-Today and Tomorrow*. Cambridge University Press, 1981. P. 75-89.

18. Ashraf R., Johansson E., Vallenback P. et al. Identification of a small translocation from 6R possessing stripe rust resistance to wheat. *Plant Disease*. 2023. V. 107. № 3. P. 720-729. doi:10.1094/pdis-07-22-1666-re

19. Yazdani M., Rouse M.N., Steffenson B.J. et al. Developing adapted wheat lines with broad spectrum resistance to stem rust: Introgression of *Sr59* through backcrossing and selections based on genotyping-by-sequencing data. *PLoS ONE*. 2023. V. 18. № 10. Article e0292724. doi: 10.1371/journal.pone.0292724

20. Cavalet-Giora E., Gonzalez-Munoz A., Athiyannan N. et al. Origin and evolution of the bread wheat D genome. *Nature*. 2024. V. 633. P. 848-855. doi: 10.1038/s41586-024-07808-z

21. Mujeeb-Kazi A., GulKazi A., Dundas I. et al. Chapter four-genetic diversity for wheat improvement as a conduit to food security. *Advances in Agronomy*. 2013. V. 122. P. 179-257. doi.org/10.1016/B978-0-12-417187-9.00004-815

22. Crowther J.R. *ELISA. Theory and Practice*. Hamana Press. 1995.

23. Jarell W.M., Beverly R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*. 1981. V. 34. P. 197-224.

24. ДСТУ 3768:2010. Пшениця. Технічні умови: [Чинний від 2010-31-03]. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 14 с. (Національний стандарт України).

25. Пат. № 17023 Україна, МПК (2006.09) A01H 1/04. Спосіб непрямої оцінки «сили» борошна — седиментація SDS-30. О.І. Рибалка, М.В. Червоніс, М.Г. Парфентьев, Д.В. Аксельруд; заявник і патентовласник Селекційно-генетичний інститут — Національний центр насіннєзнавства та сортівивчення. № u200610062; заявл. 06.02.2006; вид. 15.09.2006. 6 с.

26. Чеботар Г.О., Олійник О.Є., Лавриненко Ю.О., Чеботар С.В. Апробація маркерного аналізу гена *TaShRK2.8-A* на українських сортах пшениці м'якої озимої. *Вісник Одеського Національного Університету. Біологія*. 2020. Т. 25, вип. 2. № 47. С. 83-94. doi: 10.18524/2077-1746.2020.2(47).218456

27. Моцний І.І., Нарган Т.П., Наконечний М.Ю. та ін. Різноманіття похідних віддаленої гібридизації озимої пшениці за стійкістю до хвороб та іншими чужинними ознаками. *Вісник Одеського Національного Університету. Біологія*. 2021. Т. 26,

вип. 2. № 49. С. 51-72. doi: 10.18524/2077-1746.2021.2(49).246884

28. Mourad A.M.I., Ali A., Baenziger P.S. et al. Broad-spectrum resistance to fungal foliar diseases in wheat: recent efforts and achievements. *Frontiers in Plant Science*. 2024 (in press).

29. Моцний І.І., Благодарова О.М., Файт В.І. Ідентифікація 1В-1R транслокації та заміщення у інтрогресивних ліній озимої пшениці за допомогою біохімічних маркерів. *Збірник наукових статей. Геном рослин. Оdesa: Інтерпрінт*, 2008. С. 98-101.

30. McIntosh R.A., Yamazaki Y., Dubcovsky J. et al. Catalogue of gene symbols for wheat. *National Bioresource Project-Wheat. Wheat Genetic Resources Database. Catalogue of Gene Symbols*. URL: <http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/download.js>

31. Галаєв О.В., Сиволап Ю.М. Характеристика сортів пшениці м'якої української і російської селекції за алелями локусу *csLV34*, зчепленого з геном мультипатогенної стійкості *Lr34/Yr18/Pm38*. *Питологія і генетика*. 2015. Т. 49. № 1. С. 18-25.

32. Juliana P., Rutkoski J.E., Poland J.A. et al. Genome-wide association mapping for leaf tip necrosis and pseudo-black chaff in relation to durable rust resistance in wheat. *Plant Genome*. 2015, V. 8. № 2. P. 1-12. doi: 10.3835/plantgenome2015.01.0002

33. Міщенко Л.Т., Антіпов О.І., Дуніч А.А., Гринчук К.В. Смугаста мозаїка пшениці та жовта карликовість ячменю в Лісостепу і Степу України. *Карантин і захист рослин*. 2014. №2. С. 4-8. URL: <https://kr.ipp.gov.ua/index.php/journal/issue/view/44>

34. Mishchenko L., Dunich A.A., Mishchenko I. et al. Influence of climate changes on wheat viruses variability in Ukraine. *Agriculture and Forestry*. 2017. Vol. 63 (4). P. 43-50. DOI:10.17707/AgricultForest.63.4.04

35. Singh N.K., Shepherd K.W., McIntosh R.A. Linkage mapping of genes for resistance to leaf, stem and stripe rusts and ω -secalins on the short arm of rye chromosome 1R. *Theoretical and Applied Genetics*. 1990. V. 80. № 5. P. 609-616. doi: 10.1007/BF00224219

36. Литвиненко М.А., Топал М.М. Ефекти пшенично-житніх транслокацій 1AL/1RS 1 1BL/1RS на якість зерна у сортів пшениці м'якої озимої. *ScienceRise*. 2015. № 3.1 (8). С. 82-87.

37. Reynolds M., Dreccer F., Trethowan R. Drought adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *Journal of Experimental Botany*. 2007, V. 58, №. 2. P. 177-186. doi: org/10.1093/jxb/erl250

¹Motsnyi I., ORCID: 0000-0002-1812-9481

¹Fanin Ya., ORCID: 0000-0002-2192-9199

¹Molodchenkova O., ORCID: 0000-0003-2511-0866

¹Balvinska M., ORCID: 0000-0003-0404-9787

²Dashchenko A., ORCID: 0009-0000-9943-0710

²Mishchenko I., ORCID: 0000-0002-2919-8546

³Dunich A., ORCID: 0000-0001-9614-3441

³Mishchenko L., ORCID: 0000-0003-0697-6971

¹Plant Breeding and Genetics Institute — National Center of Seed and Cultivar

Investigation, 3 Ovidiopol'ska doroga str., Odesa, 65036, Ukraine

²National University of Life Resources and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 03040, Ukraine

³Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13, Volodymyrska str., Kyiv, 01601, Ukraine

Breeding value of new genetic sources of bread wheat resistance to fungal and viral diseases

Goal. Evaluation of the best advanced introgression wheat lines with different levels of resistance to fungal and viral diseases by yield performance and quality parameters. **Methods.** The field research was conducted on the experimental fields of the PBGI-NCSCI in 2020—2024. The study involved 18 introgression lines of different origin. The lines were studied for yield, protein content, sedimentation values and resistance to rust diseases, powdery mildew and barley yellow dwarf virus (BYDV) using conventional methods; the data were processed by analysis of variance. Cultivars that are most common in southern Ukraine and are zonal standards of yield and adaptability were used as controls. **Results.** The studied introgression lines have showed different responses to disease infection. Most of the lines were resistant to rust species, but affected by BYDV and Septoria leaf blotch. In some lines, high group resistance to diseases, conferred by a combination of wheat and alien genes for resistance, was observed. The studied lines were predominantly inferior to the most yielding standard cultivars Kuyalnyk and Shchedrist' by 3.6—28.5% in terms of yield, but prevailed or had the same yield compared to the other two standards (Hoduval'nytsya and Koloniya). Some lines have been identified to have yield results at the level of the most productive standard cultivars across the years. Almost half of the studied lines accumulated more protein content than the standards regardless on the year, but were inferior to the standards in terms of protein yield due to lower grain yield.

Conclusions. A significant positive effect of alien disease resistance genes on protein content, weight of 1000 grains and sedimentation value was found according to the results of the study. The studied introgression lines can be considered as donors of economically valuable traits and be involved in breeding programs for wheat improvement.

bread winter wheat (*Triticum aestivum* L.); yield; disease resistance; grain quality; wide hybridization

Надійшла до редакції: 10.04.2025

Прийнята до друку: 10.05.2025

Надруковано й опубліковано онлайн: червень 2025