



Генетика, селекція, біотехнологія

УДК 631.527:633.14"324"

© 2023

ГЕНЕТИКО-СТАТИСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ВИСОТИ РОСЛИН ЖИТА ОЗИМОГО З ФЕНОТИПОВИМ ПРОЯВОМ ГЕНІВ *el* ТА *ws* У ГОМОЗИГОТНОМУ СТАНІ

*Н.В. Симоненко*¹, *Л.М. Голик*², *О.С. Левченко*³

²кандидат сільськогосподарських наук

³PhD (доктор філософії)

ННЦ «Інститут землеробства НААН»

вул. Машинобудівників, 2б, смт Чабани Фастівського р-ну Київської обл., 08162, Україна

e-mail: ¹ninaskoryk2@ukr.net, ²holykseiecsioner@gmail.com, ³feniks1213@gmail.com

ORCID: ¹0000-0001-9327-5828, ²0000-0002-7157-6520, ³0000-0003-1639-326X

Надійшла 8.05.2023

Мета. Створити генетичну зміну архітекtonіки жита озимого з фенотиповим проявом генів *el* та *ws* у гомозиготному стані носіїв як окремих цінних ознак, так і їх поєднань. **Методи.** Польові, лабораторні та аналітичні. Польові дослідження проводили в умовах моніторингових обстежень згідно з методиками польового дослідження, проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин, експертизи сортів рослин групи зернових з основами статистичної обробки результатів досліджень. **Результати.** У гібридів F_1 визначено генетико-статистичні параметри висоти рослин жита озимого з фенотиповим проявом генів *el* і *ws* у гомозиготному стані. Середнє арифметичне висоти рослин жита озимого популяції П-1, яка гетерозиготна за фенотиповим проявом гена ерекtoїдності (*ElEl*) і відсутністю воскового покриву (*Wsws*), істотно ($P < 0,001$) вище за середнє арифметичне висоти популяцій, гомозиготних за рецесивними генами *el**el* П-2 або *el**elws* П-3. Популяції П-2 і П-3 у 2-му поколінні сформовано за фенотиповим проявом генів *el**el* або *el**elws* у гомозиготному стані. Визначено параметри коефіцієнта успадкування в широкому розумінні та характер взаємозв'язків кількісних ознак у гібридів від схрещування відмінних за морфологічними ознаками зразків жита озимого. **Висновки.** Висота короткостеблих рослин проявляє низьке фенотипове і генотипове варіювання; популяції з рецесивним проявом ерекtoїдності і відсутності воскового покриву (П-2 і П-3), на відміну від аналогічної гетерозиготної популяції за цими генами (П-1), мають високі обернені генетичні адитивні кореляції висоти рослин з продуктивною куцистістю, масою зерна з колоса і масою 100 зерен. Генетичне поліпшення висоти рослин у наступних поколіннях крупнозерних популяцій незалежно від фенотипового прояву

еректоїдності листкової пластинки (*elel*) окремо і разом із відсутністю воскового покриву (*el**el**ws**ws*) можна проводити прямим добором. Обернений генетичний кластер висоти рослин з продуктивною кущистістю, масою зерна з колоса, рослини і масою 100 зерен створює перспективи для генетичної зміни архітекtonіки жита.**

Ключові слова: гібриди кількісні ознаки, фенотипове і генотипове варіювання, популяція, коефіцієнт успадкування, генетичний кластер.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202308-05>

Висота рослин є географічно і фенотипово мінливою ознакою кожної популяції жита озимого [1, 2]. У дослідженні рослини за висотою розподілено на короткорослі або низькорослі — <120 см; середньорослі — 120–150 см; високорослі — >150 см. Зразки власної колекції і сорти, отримані з інших установ, істотно різнилися за висотою рослин [3–5]. Так, у наших умовах вирощування низькорослими, крім сорту Гном, були сорти Кобза (114 см), Забава (114,5 см) та № 1514 (110,1 см). Середньорослими — сорт-стандарт Пам'ять Худюєрка (130 см), сорти Хасто (130,8 см), Хамарка (129,2 см), Жатва (132,3 см), № 14413 (138,2 см), Хаір (141,5 см), Стоір (138 см), Ірина (131,2 см), № 14713 (122,1 см), Вітвіцьке (139,9 см), Сіверське (137,6 см), Інтенсивне 95 (138,9 см), Інтенсивне 99 (142,2 см), № 1414 (143,8 см), № 1714 (144,1 см), № 2514 (139,7 см). Високорослими були сорти Велетень (164,1 см) та № 1614 (153,8 см). У селекційних популяціях виділено й ізольовано групу рослин з еректоїдним типом листка, відхиленням від стебла на 5–7° [6–8]. Еректоїдність має символіку генів ознаки — *el**el* (*erectum leafe*). Під час схрещування джерел з альтернативними генами *el**el* зі звичайними зразками із звисаючою листковою пластинкою проявляється рецесивне успадкування в 1-му поколінні і менделівське розщеплення у F₂ (співвідношення 3:1).

У селекційних популяціях виділено окремі рослини з фенотиповим проявом ознаки «відсутність воскового покриву на стеблах і листках» — гени *ws**ws* (*waxy cover*). За схрещування сортів із восковим покривом у F₁ зазначена ознака зникає, у F₂ проявляється знову за співвідношення 3 воскові до 1 безвоскової рослини. Ознака відсутності воскового покриву успадковується

одним рецесивним геном у гомозиготному стані [9].

Спадкова різноманітність популяцій у прихованому стані представлена рецесивними алелями в гетерозиготних рослинах. Найчастіше приховане різноманіття трапляється за інбридингу. Безпосередній аналіз гетерозиготності від самозапилення жита озимого в популяціях неефективний через високий ступінь самонесумісності. Тому популяції в 2-му поколінні, сформовані за фенотиповим проявом генів *el**el* або *el**el**ws**ws* у гомозиготному стані, показали, що середні квадратичні відхилення (S) або дисперсії (S²) ознаки становлять винятковий інтерес для селекції. За цими параметрами визначено коефіцієнт успадкування в широкому розумінні.

Мета досліджень — створити генетичну зміну архітекtonіки жита озимого з фенотиповим проявом генів *el* та *ws* у гомозиготному стані носіїв як окремих цінних ознак, так і їх поєднань.

Матеріали та методи досліджень. Польові досліди і структурний аналіз селекційного матеріалу проводили на базі відділу селекції і насінництва зернових культур (ННЦ «Інститут землеробства НААН»). Матеріалом були донори жита озимого, створені раніше й використовувані в гібридизації як власний селекційний матеріал [1, 5, 10]. Під час проведення польових дослідів застосовували відповідні загальноприйняті методики [Доспехов Б.О., 1985; 11]. Упродовж періоду вегетації жита озимого фіксували фази розвитку рослин, оцінювали колекційні зразки за зимостійкістю, стійкістю до хвороб, вилягання, проводили інші оцінки та аналізи згідно з відповідними методичними рекомендаціями [12; Кобилянський В.Д., 1982; 13]. Методи створення нового селекційного матеріалу:

паралельна конвергенція гібридних популяцій щодо висоти рослин, продуктивної кущистості, довжини і щільності колоса, маси зерна з рослини, колоса, 100 зерен із рослини, якості зерна і зеленої маси. Також брали до уваги особливості розвитку фотосинтетичного апарату, кількості зародкових корінців з використанням гена-супресора *NIH1* з домінантним успадкуванням ознаки. Високопродуктивні популяції створено на основі домінантної короткостеблості за допомогою серії беккросів; гомозиготація гібридних популяцій від насичувальних схрещувань контролюється аналізуючими схрещуваннями, концентрацією бажаних генів, сіб-запиленням, клонуванням. Інбридинг із чергуванням самозапилення і запилення сібсів дає змогу проводити більш спрямовану селекцію ліній за різними ознаками й значно зменшує обсяг ізоляції рослин.

Індивідуальні добори рослин здійснювали у фазі повної стиглості зерна, обмолот — індивідуально за рослинами на колосковій молотарці МКК-2. Структурний аналіз для визначення елементів насінневої продуктивності (висоти рослини, продуктивної кущистості, довжини колоса, кількості квіток і зерен у колосі, маси зерна з рослини і з колоса, маси 100 зерен із рослини) проводили із застосуванням вимірювально-вагових методів. Озерненість і щільність колоса обчислювали розрахунковим методом.

Результати досліджень. Характеристики генетичних параметрів величин середньої

арифметичної (\bar{X}), середнього квадратичного відхилення (S), коефіцієнта варіювання (V), амплітуди мінливості (lim), успадкування в широкому (H^2) і вузькому (h^2) розумінні становлять інтерес на фоні фенотипового прояву генів якісних ознак *el* і *wc*, що зумовлюють розподіл фенотипових або генотипових значень для кількісних ознак. Параметри відповідних розподілів і отримані з них величини мають генетичну складову (табл. 1).

Середнє арифметичне висоти рослин жита озимого популяції П-1, що гетерозиготна за фенотиповим проявом гена ерекції (*El/El*) і відсутності воскового покриття (*Wc/wc*) істотно ($P < 0,001$) вища від популяцій, гомозиготних за рецесивними генами *el/el* П-2 або *el/elwc/wc* П-3. Популяції П-2 і П-3 у 2-му поколінні сформовано за фенотиповим проявом генів *el/el* або *el/elwc/wc* у гомозиготному стані.

Висота рослин із проявом гена *el/el* П-2 виявилася істотно нижчою за висоту групи рослин, відібраних за фенотиповим проявом генів *el/elwc/wc* П-3 ($P < 0,01$). Загальне фенотипове варіювання висоти рослин закономірно істотно вище за генотипове в усіх популяцій.

Середні квадратичні відхилення (S) або дисперсії (S^2) ознаки становлять винятковий інтерес для селекції. За цими параметрами визначали коефіцієнт успадкування в широкому розумінні ($H^2 = S_G^2 / S_P^2$). Коефіцієнти успадкування в широкому розумінні визначено для $H^2_{П-1} = 0,77$, $H^2_{П-2} =$

1. Генетико-статистичні параметри висоти рослин жита озимого (см) з фенотиповим проявом генів *el* і *wc* у гомозиготному стані (2021 р.)

Параметр	П-1 F_3 lgltgtg/ <i>El/ElWc/wc</i>	П-2 F_3 lgltgtg/ <i>el/elWc/wc</i>	П-3 F_3 lgltgtg/ <i>el/elwc/wc</i>
Середнє, $\bar{X} \pm s_x P$ G	103,08±0,74 102,87±0,55	95,32±0,83 95,12±0,38	97,95±0,71 97,27±0,56
Квадратичне, P	8,70±0,52	10,88±0,59	11,39±0,50
$S \pm s_s G$	7,63±0,41	9,17±0,51	9,39±0,39
Варіація, P	8,44±2,43	11,42±0,62	11,63±0,51
$V \pm s_v G$	7,42±1,82	9,64±0,48	9,65±0,46
Амплітуда, P	85–124	70–117	68–134
lim G	88–105	81–103	76–109
Успадкування			
H^2	0,77	0,71	0,68
h^2	0,58	0,66	0,49

Примітка. P — фенотипові, G — генотипові параметри.

= 0,71 і $H^2_{P-3} = 0,68$. Такі величини коефіцієнтів успадкування висоти рослин у широкому розумінні відзначено як високі.

Показано розподіл висоти рослин 3 короткостеблих популяцій, відмінних за проявом еректоїдності листової пластинки (П-2) та відсутністю воскового покриву на стеблі і листі (П-3) у порівнянні з популяцією (П-1), зумовленою гетерозиготним проявом обох ознак (рис. 1). У гетерозиготній популяції (П-1) за проявом генів *Elel/Wcwc* спостерігалася мінливість висоти рослин — 68–118 см, і попри широкий розмах вона наближена до нормального розподілу. Гомозиготна за геном еректоїдності (*el/el*) популяція F_3 мала меншу мінливість висоти рослин, мінімальна їх висота проявлялася на рівні 83 см зі змищенням середньої ($X=95,32$ см). Популяція F_3 *lgltgtg/(F_2 Elel/wcwc)* проявила істотно найбільшу мінливість висоти рослин — 68–118 см і, незважаючи на деяку видовженість, крива розподілу була нормальною. Видовженість вершини кривої розподілу свідчить про гетерогенність прояву висоти рослин у популяції з відсутністю воскового покриву (див. рис. 1).

Складова, зумовлена генетичними чинниками, більше впливає на фенотипову варіацію висоти рослин у всіх експериментальних популяціях. Показники успадкування у вузькому розумінні обчислювали в популяціях за подвоєним коефіцієнтом генетичної адитивної кореляції між висотою батьківських рослин і середньою висотою покоління прямих нащадків. У популяції F_3 *lgltgtg/(Elel/*

Wcwc) (П-1) генетична адитивна кореляція між висотою батьківських рослин у F_2 і середньою висотою сімей у F_3 становила $r_A = 0,29$. Коефіцієнт успадкування у вузькому розумінні визначали як подвоєний коефіцієнт кореляції між ознакою батьків і середньою ознакою у нащадків — $h^2_{P-O} = 0,58$. Внизу символ P–O означає parents (батьки), offspring (нащадки). Загальна генетична мінливість висоти рослин визначається коефіцієнтом успадкування в широкому розумінні $H^2=0,77$, а генетичне варіювання, спричинене адитивним впливом, є успадкуванням у вузькому розумінні — $h^2 = 0,58$. За величиною, що залежить від загальних генетичних і адитивних чинників, можна визначити складову, зумовлену неадитивними чинниками, — $H^2-h^2 = 0,77-0,58 = 0,19$. Остання величина показує сумарний внесок домінантних і епістатичних (неадитивних) чинників у генетичну мінливість висоти рослин (П-1). Ефект впливу неадитивних чинників у наступному поколінні зазвичай не проявляється, оскільки в результаті кросинговеру домінантні та епістатичні асоціації генів у переважній більшості розпадаються, тому ефект гетерозису закріпити добром неможливо. Диференціація впливу генетичної варіації на адитивну і неадитивну складові важлива для селекційного вдосконалення висоти рослин жита (П-1).

Успадкування висоти рослин у широкому і вузькому розумінні для крупнозерної популяції F_3 *lgltgtg/(F_2 elel/Wcwc)* (П-2) визначено як $H^2=0,71$ і $h^2=0,66$. Основний внесок у генетичне варіювання висоти рослин еректої орієнтації листової пластинки (ЕОЛП) залежить від генів з адитивним ефектом. На цьому етапі досліджень популяції з ЕОЛП ефективну селекцію можна проводити прямим добром за висотою рослин. Найбільше адитивних генів було також у крупнозерної популяції F_3 *lgltgtg/(F_2 elel/wcwc)* (П-3) — як $H^2 = 0,68$ і $h^2 = 0,49$. При проведенні селекції за висотою рослин у наступних поколіннях (П-3) слід брати до уваги відповідну похибку можливого зниження результативності добору, зумовлену невисоким впливом неадитивних чинників.

За результатами аналізу фенотипових і генотипових коефіцієнтів кореляцій установлено ранги: з абсолютним значенням більше 0,7 — високі, 0,5–0,69 — середні,

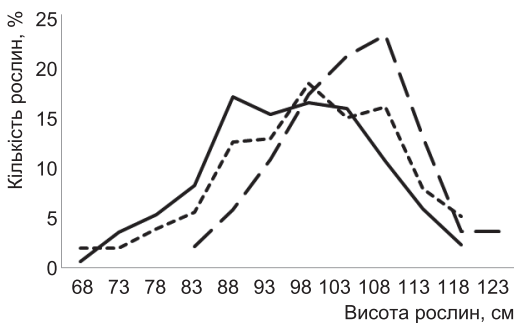


Рис. 1. Фенотиповий розподіл висоти рослин 3 популяцій жита: F_3 *lgltgtg/(F_2 Elel/Wcwc)* (П-1), F_3 *lgltgtg/(F_2 elel/wcwc)* (П-2), F_3 *lgltgtg/(F_2 Elel/wcwc)* (П-3), 2021 р.: — — — П-1; - - - П-2; ---- П-3

у межах 0,3–0,49 — низькі. Позитивна кореляція показує пряму залежність між ознаками: зі збільшенням однієї збільшується інша. За негативної (від'ємної) кореляції залежність між ознаками є оберненою — збільшення однієї ознаки відповідно пов'язане зі зменшенням іншої.

Аналіз взаємозв'язків висоти рослин у споріднених крупнозерних популяціях із проявом фенотипових ознак, зумовлених генами *Ere1* і *Wcswc* у гетерозиготному (П-1) та *erer* (П-2) і *erelwswc* (П-3) гомозиготному станах, виявив невисокі прямі фенотипові кореляції з масою зерна з колоса ($r_p = 0,33-0,49$) і продуктивною кущистістю ($r_p = 0,22-0,38$). Варіювання висоти рослин (4–48%) зумовлено фенотиповою мінливістю маси зерна з колоса з продуктивною кущистістю. Генетичні адитивні коефіцієнти кореляції висоти батьківських рослин із продуктивною кущистістю прямих нащадків залежно від гомо- або гетерозиготності 2 альтернативних якісних генів проявили неадекватність за напрямом (\pm) і величиною. У популяції (П-1) F_3 *lgltgtg* (F_2 *Elel/Wcswc*) кореляція висоти батьків і продуктивної кущистості нащадків виявилася прямою високою ($r_A = 0,72$). У популяціях, де рецесивні гени *el* (П-2) і *elwswc* (П-3) перебувають у гомозиготному

стані, генетичні адитивні кореляції між цими ознаками виявилися також високими, але оберненими: r_A становить $-0,74$ і $-0,78$ відповідно. Зі зниженням висоти гомозиготних генів по *el* (П-2) і *elwswc* (П-3) батьківських рослин у F_2 на 55–61% генетично збільшувалася продуктивна кущистість нащадків F_3 .

Генетична адитивна кореляція у популяції з гомозиготним геном *el* (П-2) становила $r_A = -0,44$, гомозиготними генами *elwswc* (П-3) — $r_A = -0,48$. В аналогічній популяції з гетерозиготним проявом генів *Elel/Wcswc* (П-1) кореляції продуктивної кущистості батьків з висотою рослин нащадків не встановлено.

Отже, між висотою та продуктивною кущистістю в популяції із гомозиготним проявом генів еректоїдності і відсутності воскового покриву встановлено негативну генетичну кореляцію — $r_G = -0,54$ (за Хейзелем). Наявність генів *el* і *wc* у гомозиготному стані в сполученні з крупнозерністю (*lgltgtg*) у селекції на короткостеблність (*HHH*) сприяє збільшенню продуктивної кущистості. Селекційною програмою з використанням відповідних донорів зазначених ознак слід передбачити генетичну оптимізацію рівнів короткостеблності з продуктивною кущистістю.

Висновки

Встановлено, що висота рослин у короткостеблних популяціях жита озимого проявляє низьке фенотипове і генотипове варіювання. Популяції з рецесивним проявом еректоїдності і відсутністю воскового покриву (П-2 і П-3), на відміну від аналогічної гетерозиготної популяції за цими генами (П-1), проявляють високі обернені генетичні адитивні кореляції висоти рослин із продуктивною кущистістю, масою зерна з колоса і масою 100 зерен.

Генетичне поліпшення висоти рослин у наступних поколіннях крупнозерних популяцій незалежно від фенотипового прояву еректоїдності листкової пластинки (*el*) окремо й разом із відсутністю воскового покриву (*elwswc*) можна проводити прямим добром. Обернений генетичний кластер висоти рослин із продуктивною кущистістю, масою зерна з колоса, рослини і масою 100 зерен створює перспективи для генетичної зміни архітектури жита.

Symonenko N.¹, Holyk L.², Levchenko O.³
National Scientific Center "Institute of Agriculture of NAAS"; 2b Mashynobudivnykiv Str., vil. Chabany, Fastiv district, Kyiv oblast, 08162, Ukraine; e-mail: ¹ninaskoryk2@ukr.net, ²holykseiecsitioner@gmail.com, ³feniks1213@gmail.com; ORCID: ¹0000-0001-9327-5828, ²0000-0002-7157-6520, ³0000-0003-1639-326X
Genetic and statistical parameters of the height of winter rye plants with the phenotypic manifestation of *el* and *wc* genes in the homozygous state

Goal. To create a genetic change in the architecture of winter rye with the phenotypic manifestation of *el* and *wc* genes in the homozygous state of carriers of both individual valuable traits and their combinations. **Methods.** Field, laboratory, and analytical. Field research was carried out under the conditions of monitoring surveys under field research methods, carrying out qualification examination of plant varieties, and examination of plant varieties of the cereal group with the basics of

statistical processing of research results. **Results.** The genetic and statistical parameters of the height of winter rye plants with the phenotypic expression of *el* and *wc* genes in the homozygous state were determined in F₁ hybrids. The average arithmetic height of winter rye plants of the P₁ population, which was heterozygous for the phenotypic expression of the erectness gene (*El*) and the absence of a wax coating (*Wcwc*), was significantly ($P < 0.001$) higher than the average arithmetic height of the populations homozygous for the recessive *el* P₂ or *el**wcwc* P₃ genes. Populations P₂ and P₃ in the 2nd generation were formed by the phenotypic expression of *el* or *el**wcwc* genes in the homozygous state. The parameters of the inheritance coefficient in the broad sense and the nature of the relationships of quantitative traits in hybrids from the crossing of morphologically different winter rye samples were determined. **Conclusions.** The height of short-stemmed plants showed low

phenotypic and genotypic variation; populations with a recessive manifestation of erectoidity and the absence of a wax coating (P₂ and P₃), in contrast to a similar heterozygous population for these genes (P₁), had high inverse genetic additive correlations of plant height with productive bushiness, grain weight per ear and weight of 100 grains. Genetic improvement of plant height in subsequent generations of grain populations, regardless of the phenotypic manifestation of leaf plate erectoidity (*el*) separately and together with the absence of a wax coating (*el**wcwc*), can be carried out by direct selection. The inverted genetic cluster of plant height with productive bushiness, grain mass per ear, plant, and 100-grain mass creates prospects for genetic change in rye architecture.

Key words: hybrids, quantitative traits, phenotypic and genotypic variation, population, inheritance coefficient, genetic cluster.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202308-05>

Бібліографія

1. Скорик В.В., Симоненко Н.В. Оцінка деяких ознак озимого жита (*Secale cereale* L.) в умовах Носівської селекційної дослідної станції. *Миронівський вісник*. 2016. Вип. 3. С. 58–70.

2. Симоненко Н. В., Скорик В. В. Фенотипова мінливість врожайності технологічних, хлібопекарських властивостей зерна і в'язкості водорозчинного екстракту озимого жита. *Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур*: VII міжнар. наук.-практ. конф. молод. учених. С. Центральне, 2019.

3. Geiger H.H., Miedaner T. Genetic basis and phenotypic of male-fertility restoration in rye. *International Symposium on Rye Breeding Genetics University of Hohenheim* (27–29 June 1996): thesis. Stuttgart. 1996. P. 27–38.

4. Симоненко Н.В., Скорик В.В., Жемойда В.Л. Результати селекційної роботи з озимим житом на Носівській селекційно-дослідній станції. *Науковий вісник НУБіП України*. Серія: Агрономія. 2018. № 286. С. 152–163.

5. Симоненко Н.В., Скорик В.В., Сень О.В. Успадкування кількісних ознак якості зерна озимого жита. *Досягнення та концептуальні напрямки розвитку сільськогосподарської науки в сучасному світі*: матер. II Всеукр. наук.-практ. конф. Олександрівка, 2018. С. 70–72.

6. Симоненко Н.В. Кореляції кількісних ознак з якістю зерна жита озимого. *Професор С.Л. Франкфурт (1866–1954) — видатний вчений-агробіолог, один із дієвих організаторів академічної науки в Україні (до 150-річчя від дня народження)*: матер. міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2016. С. 90–91.

7. Мазур З.О., Симоненко Н.В. Особливості формування основних елементів структури

врожаю жита озимого. *Зрошуване землеробство*. 2014. Вип. 61. С. 107–110.

8. Симоненко Н.В., Сень О.В. Оцінка якості зерна озимого жита для селекції сортів цільового призначення. *Геноміка та біохімія сільськогосподарських рослин*: зб. тез міжнар. наук. конф. СГІНЦНС, Одеса, 2017.

9. Симоненко Н.В. Формування продуктивності короткостеблових крупнозерних і високорослих зразків жита озимого. *Наукові здобутки селекціонерів ННЦ «Інститут землеробства НААН» — на благо майбутнього: матер. міжнар. наук. інтернет-конф. (8 вересня 2022 р.), присвяченої 120-річчю від дня народження вченого, аграрія, селекціонера Данила Лухваря*. Чабани, 2022. С. 65–68.

10. Falke K.C., Wilde P., Miedaner T. Rye introgression lines as source of alleles for pollen-fertility restoration in Pampa. *Plant Breeding*. 2009. № 128. Is. 5. P. 528–531. doi: 10.1111/j.1439-05232008.01589.x/abstract

11. *Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні*. Загальна частина. Український інститут експертизи сортів рослин; за ред. Ткачик С.О. Вінниця, 2016. 120 с.

12. *Методика проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні*. Український інститут експертизи сортів рослин; ред. Ткачик С.О. Вінниця, 2016. 82 с.

13. Melz G., Melz G., Hartmann F. Genetics of a male-sterile rye of «G-type» with results of the first F₁ hybrids. *Proceeding of the EUCARPIA Rye Meeting* (July 4–7, 2001): thesis. Radzikov. 2001. P. 43–50.