

ВПЛИВ ЗАКРІПЛЮВАЧІВ ЦИТОПЛАЗМАТИЧНОЇ ЧОЛОВІЧОЇ СТЕРИЛЬНОСТІ ПРИ СТВОРЕННІ ГЕТЕРОЗИСНИХ ГІБРИДІВ ЖИТА ОЗИМОГО

Д. К. Єгоров, Н. А. Глухова, М. І. Непочатов

Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, пр. Героїв Харкова, 142, м. Харків, 61060, Україна

Актуальність. Гетерозисні гібриди жита озимого багатоконпонентні, передбачають наявність материнського стерильного компонента, закріплювача стерильності та відновника фертильності. Але недостатня увага приділяється закріплювачу стерильності, який найчастіше розглядається як проміжна ланка у створенні гібридів на гетерозисній основі. **Мета досліджень:** Провести аналіз наукових досліджень лабораторії селекції та генетики жита озимого ІР ім. В. Я. Юр'єва НААН у рамках селекційних програм зі створення материнських компонентів гібридів жита озимого на основі ЦЧС Ратра-типу. **Матеріали та методи.** Аналіз наукових досліджень лабораторії проводився за період 1960–2025 рр. Об'єктом дослідження були лінії-закріплювачі стерильності, що були створені в результаті насичуючих схрещувань, методу бекросів, багаторазового інбридингу та використання генів самофертильності для ЦЧС Ратра-типу. Загальна кількість ліній щороку змінювалась від 242 шт. – у 2020 р. до 568 шт. – у 2007 р.. Вивчення проводили за кількісними морфогенетичними ознаками. **Результати.** Суттєве перевищення за продуктивністю колосу спостерігалось при отриманні гібридів з неспорідненим закріплювачем в комбінаціях за участі ліній 961358 Б, 90693 Б, 90691 Б, 961157 Б, які наразі використовуються у створенні материнських компонентів. Створено донори самофертильності – сорти Харківська 98, Стоір та близько 150 ліній. У Національному центрі генетичних ресурсів рослин України зареєстровано колекцію закріплювачів стерильності – 15 шт. Було розроблено і використовується та удосконалюється метод створення генетичних систем ЦЧС для Харківського типу (R-тип) та для Пампа типу (P-тип) стерильності. **Висновки.** Для створення закріплювачів стерильності необхідно дотримуватись наступної схеми: інтродукція в селекційний матеріал Sf-генів; самозапилення та відбір фертильних рослин; тестування нащадків; перевірка на відсутність Rf-генів; оцінка комбінаційної здатності. Для закріплювача стерильності бажаною є наявність генів самофертильності (Sf-генів), для відновника фертильності найбільшою перевагою є наявність, як генів відновлення фертильності (Rf-генів), так і генів самофертильності (Sf-генів). Результати закріплювальної здатності можна аналізувати починаючи з четвертого року насичуючих схрещувань. Для запобігання інбридній депресії необхідне використання змішаної форми запилення, як самозапилення окремих рослин так і отримання сибсів. З метою отримання достатньої кількості насіння використовувати специфічність прояву генів самофертильності. Очікуваним є високий рівень перехресного запилення у випадку попереднього високого рівня самозапилення. Застосування неспорідненого (чужеродного) закріплювача стерильності дозволяє підвищити показники продуктивності колосу.

Ключові слова: жито, гетерозис, ЦЧС, закріплювач стерильності, само фертильність.

Вступ. Жито озиме (*Secale cereal* L.) є однією з основних хлібних культур у країнах Європи, в тому числі й в Україні, має високу зимостійкість і посухостійкість, відзначається невибагливістю до ґрунтів і попередників, менше, ніж інші зернові культури, уражується хворобами, добре реагує на удобрення та інші агротехнічні прийоми. Для забезпечення потреб людини в житньому хлібі науково обґрунтована необхідність складає 50 кг зерна жита на рік [1, 2]. Розрахункова кількість

продовольчого зерна жита для України має бути 2,3 млн. т на рік. Середня урожайність жита за останні роки становить 2,1 т/га. Для забезпечення потреб населення України потрібно мати посівну площу озимого жита біля 1 млн. га.

Для інтенсифікації виробництва продовольчого зерна жита необхідно впроваджувати у виробництво, порівняно із сортами, принципово нові, сучасні, інноваційні розробки, що матимуть вищу врожайність, зимо-

Інформація про авторів:

Єгоров Дмитро Костянтинович, доктор с.-г. наук, завідувач лабораторії селекції та генетики жита озимого, <https://orcid.org/0000-0003-0218-3827>

Глухова Наталія Анатоліївна, канд. с.-г. наук, пров. наук.співр., e-mail: Gluhovanaseed@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2991-3810>

Непочатов Микола Іванович, канд. с.-г. наук, ст. наук. співр. <https://orcid.org/0009-0008-8456-1783>

Надійшла:

27.02.2026

Прийнята:

02.04.2026

Опублікована:

26.05.2026



стійкість, посухостійкість, стійкість проти вилягання, будуть толерантними до хвороб і ушкодження шкідниками, матимуть високу якість зерна та будуть придатними до механізованого вирощування [3]. Представниками такого типу розробок є гібриди жита озимого селекції Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН [4]. Перевага гібридів над популяціями зумовлюється максимально повним використанням ефекту гетерозису від схрещування різних за генетичним складом материнського компонента гібрида та опилувача (синтетика з константних ліній або штамів). У селекції гібридів на гетерозисній основі якнайповніше спостерігається взаємозв'язок потенційної продуктивності і екологічної стійкості, які підвищують стабільність урожаю і створюють передумови для збільшення врожайності жита озимого не менш, ніж на 15 % [5]. і окупності витрат на вдосконалення технології йде за рахунок позитивної реакції гібридів у порівнянні з сортами на прийоми агротехніки. Селекція гібридів більш мобільна і пластична за скорочення строків сортооновлення, вона зменшить шлях від початку опрацювання вихідного матеріалу до впровадження його в практику.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що в основу створення гібридів жита озимого покладено ценогенетичні підходи об'єднання функціонально різних, належних до різних генопулів ліній [6]. Дослідження за цими розробками включають наступні розділи: підготовку материнських компонентів гібридів – розмноження стерильних ліній; отримання простих гібридів із закріпленою стерильністю; підготовку батьківських компонентів гібридів – розмноження ліній-відновників фертильності; отримання синтетиків з ліній-відновників фертильності; отримання гібридів з різних форм материнських і батьківських компонентів; проведення випробування їх в часі і просторі; відбір гетерозисних комбінацій для об'єднання в гібрид; розмноження батьківських компонентів кращих відібраних гетерозисних пар з метою отримання гібридного насіння для товарного посіву.

Німецькими дослідниками встановлено, що найбільш придатним типом насіннєвого батька є простий стерильний гібрид F_1 ,

який одержують від запилення ЧС-ліній саме неспорідненим (чужорідним) закріплювачем стерильності – F_1 ЧС (А/В). Такий гібрид об'єднує в собі переваги: достатню кількість отриманого насіння у компонентів гібрида (знімається інбредна депресія у ліній), високий рівень продуктивності стерильного гібрида F_1 (максимальне використання гетерозису від об'єднання неспоріднених ліній ЧС і ЗС) і стабільність фенотипу (відомі труднощі в досягненні стабільного фенотипу за довжиною стебла у популяцій і штамів). «Вузким місцем» в підтримці вихідних матеріалів є жорсткі вимоги до просторової ізоляції, що пов'язано з особливостями розмноження жита озимого і специфікою насінництва систем ЦЧС. Це ускладнює проведення робіт у великих обсягах у районах широкого вирощування жита озимого [7, 8].

Раніше розроблені німецькими вченими методичні питання селекції гібридних сортів і досі широко використовуються в селекційних програмах Німеччини [8], України [9], Польщі [10], Чехії [11]. Незалежно від країни, пріоритетними напрямками сучасної селекції гібридного жита є:

1. Використання CMS-систем та відновників фертильності для контролю запилення;
2. Комбінаторний добір батьківських ліній за продуктивністю та адаптивними ознакам;
3. Польові багатолокаційні випробування для оцінки стабільності та адаптації;
4. Молекулярні маркерні системи для прискорення відбору та генетичного аналізу.

Основними компонентами гібридів жита є:

1. Материнський компонент (ЦЧС-лінія). Квіти не утворюють життєздатного пилку, але забезпечується контрольоване перехресне запилення. Рослини повинні мати добру зимостійкість і вирівняність.

2. Закріплювач (підтримувач) стерильності. Може бути генетично подібним до ЦЧС-лінії, якщо розглядати класичну схему селекції гібридів жита на гетерозисній основі. Або бути неспорідненим (чужорідним), тобто походити із іншого генетичного джерела. Використовується для розмноження материнського компонента і, за своєю суттю, є проміжною ланкою у створенні гетерозисного гібрида.

3. Батьківський компонент (відновник

фертильності). Має гени *Rf*, що відновлюють фертильність у гібриді, найчастіше представлений популяцією або синтетиком, джерелами та донорами ознак якості. Відповідає за підвищення урожайності та стійкості гібридів.

Селекція гібридів жита є багатокомпонентною, компоненти яких повинні відповідати певним вимогам не тільки для відтворення ефекту гетерозису, а і відповідати критеріям стабільності та однорідності. Найчастіше в дослідженнях фігурують гібриди, надається повний опис характеристик, як продукту комерції. Недостатня увага приділяється закріплювачу стерильності, який найчастіше розглядається проміжною ланкою у створенні гібридів на гетерозисній основі.

Матеріали та методи. Було проведено аналіз наукових досліджень лабораторії селекції та генетики жита озимого Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН за 1960–2025 рр. у рамках селекційних програм зі створення материнських компонентів гібридів жита озимого на основі ЦЧС *Ramra*-типу. Об'єктом дослідження були лінії, що мали закріплювальну здатність стерильності та були створені в результаті насичуючих схрещувань, методу бекросів, багаторазового інбридингу та цілеспрямованого використання генів самофертильності. Загальна кількість ліній щороку змінювалась від 242 шт. у 2020 р. до 568 шт. у 2007 р. Вивчення проводили за кількісними морфогенетичними ознаками: висотою рослин (см), продуктивною кущистістю (шт.), довжиною колоса (см), числом квіток у колосі (шт.), фертильністю колоса (%), щільністю колоса (шт.), використовуючи методику [12]. Рівень фенотипового прояву ознак простих стерильних гібридів за відношенням до батьківських форм оцінювали у відсотках до пилкостерильної (ЦЧС лінії) і неспорідненого закріплювача стерильності (ЗС). Кліматичні та погодні умови зони діяльності Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН характеризувалися помірно континентальністю і за основними елементами погоди відповідали зоні нестійкого зволоження. За даними метеостанції Харківського аеропорту середня багаторічна кількість опадів складає 472 мм, середньодобова температура повітря (середньобагаторічне значення) + 7,5 °С. Вирощування жита озимого здійснювали за загальноприйнятою методи-

кою, яка застосовується у зоні Лісостепу України [13].

Результати та обговорення. Дослідження селекції з використання ефекту гетерозису в Інституті рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН почалися близько 60 років тому під керівництвом І. П. Полякова, А. Ф. Здрілько, В. П. Дерев'янка, Г. К. Адамчука після відкриття успадкування цитоплазматичної чоловічої стерильності в різноманітному вихідному матеріалі жита. В даний час у багатьох селекційних установах Європи та країн близького зарубіжжя проводять дослідження за паралельними програмами, які відображають використання гетерозису в селекції цієї культури.

Дослідженнями нашої лабораторії було доведено, що основний вклад в продуктивність гібридів має материнська форма (86,3 %). Батьківський компонент повинен мати високу комбінаційну і пилкоутворювальну здатність та бути надійним закріплювачем стерильності (ЗС).

Вирізняють дві форми закріплювачів стерильності: споріднений та неспоріднений. Споріднений закріплювач стерильності за своїм походженням є фертильним аналогом стерильної форми і, за своєю суттю, є підтримувачем її життєздатності. Нашими дослідженнями сумісно із дослідженнями аспірантки З. О. Мазур було доведено, що починаючи з четвертого року бекросів, коли ступінь насичення геному стерильної форми геномом фертильної форми сягатиме 93,7 %, можна проводити аналіз на закріплювальну здатність. Подальше насичення геному стерильної форми для отримання нових гетерозисних гібридів можливе, але більш затратне.

Гетерозиготність насіння батьківського ЦЧС гібрида F_1 досягається шляхом схрещування ЧС-ліній з неспорідненим ЗС. За неспоріднений ЗС ми використовуємо не тільки інші лінії, створені в одному сорті, але і, на відміну від німецьких дослідників, лінії ЗС, отримані в інших сортах.

При доборі ліній в якості закріплювача стерильності слід опиратися на показники загальної комбінаційної (ЗКЗ), специфічної комбінаційної здатностей (СКЗ); закріплювальної здатності; урожайності самої лінії, яка залежить від морозостійкості, посухостійкості та стійкості до основних хвороб.

Лінії, використані в якості закріплюва-

ча стерильності по-різному впливали на основні характеристики простих гібридів. Так, залежно від способу застосування лінії (стерильного, або фертильного аналогу) основні показники, які впливають на урожайність зерна, суттєво змінювалися. Тобто, при створенні простих міжлінійних гібридів слід проводити оцінку ліній в реципрокних пар-

них схрещуваннях.

Проведені у 2020 та 2021 рр. схрещування семи ліній із відновниками фертильності (ВФ) та із неспорідненими (чужорідними) закріплювачами стерильності показали переваги за основним показником – продуктивність головного колосу (табл. 1).

Суттєве перевищення за продуктив-

Таблиця 1. Продуктивність головного колоса експериментальних гібридів жита озимого з ВФ та ЗС (неспоріднений ЗС), 2020–2021 рр., г/колос

ЧС-лінія	2020 р.		2021 р.	
	ВФ	ЗС	ВФ	ЗС
2956 Б	1,24	1,86	1,25	2,08
120337 Б	1,16	1,46	1,45	1,95
944027 Б	1,53	1,93	1,87	2,04
90693 Б	1,43	1,81	1,66	2,14
961358 Б	1,50	1,74	1,35	2,18
90691 Б	1,51	2,07	1,55	2,16
961157 Б	1,50	2,02	1,34	2,13
НІР _{0,05}	0,42		0,39	

ністю головного колоса спостерігалось при отриманні гібридів з неспорідненим закріплювачем. Така тенденція спостерігалась у всі роки дослідження. Кращі показники спостерігали в комбінаціях за участі ЗС-ліній 961358 Б, 90693 Б, 90691 Б, 961157 Б, які ми наразі використовуємо при створенні материнських форм гібридів.

Результати випробування дозволяють зробити висновок, що всі створені системні пари ЧС-ЗС мають високу комбінаційну здатність. Про це свідчать також результати обробки матеріалу за двофакторною схемою гібрид-тестер.

Правильний підбір закріплювача стерильності або відновника фертильності дає можливість отримувати приріст урожайності простих міжлінійних гібридів.

Використання генів самофертильності для створення самозапилених ліній жита озимого. Самофертильність виникає, коли порушується робота S- чи Z-локусів або виникають спеціальні мутації, що послаблюють самонесумісність [14, 15]. Найбільш відомими є Sf-гени (Self-fertility genes), локація яких може відрізнятися в залежності від генетичного походження селекційного матеріалу, можуть базуватися на 1R, 4R, 5R хромосомах. Різними авторами описано домінантні або частково домінантні гени, що подавляють дію S/Z системи несумісності,

забезпечують часткову або повну самофертильність [16, 17]. J. Melonek, V. Korzun, B. Naskauf була зроблена робота з узагальнення сучасних знань про генетичні механізми контролю само несумісності [18].

Створення ліній базується на досягненнях селекції популяції з використанням джерел різних якостей. Використовування донора самофертильності дозволило провести широкомасштабну програму інбридингу і збільшити вірогідність ідентифікації кращих за різними якостями генотипів [19]. Схрещування з донором самофертильності високопродуктивних популяцій, джерел ранньостиглості і стійкості до патогенів розширили генетичний спектр мінливості у жита, доступний для відбору генотипів – гомозигот і створення на їх основі ліній з різними морфологічними, продукційними і функціональними якостями.

У нашій лабораторії створено і на даний час використовуються донори самофертильності сорти Харківська 98, Стоір, а також отримано ряд самозапильних ліній, близько 150 шт. На Верхняцьку дослідно-селекційну станцію для створення сортів та гібридів жита озимого було передано зразки донорів самофертильності СФ-2 та СФ-6 [20]. Зацікавленість у використанні саме самофертильних ліній має кілька аспектів, це підвищення насінневої продуктивності

індухт-ліній та суттєве зменшення ураження рослин жита *Ріжками пурпуровими* (*Claviceps purpurea*) за рахунок вчасного запилення. Домінантне успадкування *Sf-генів* дозволяє суттєво знизити ураження *Ріжками пурпуровими* рослин гетерозисних гібридів жита озимого. Даний показник є значним і, який регламентується [21].

C. Polanco, C. Gonzalez, F. J. Vences, M. Perez de la Vega показали, що ступінь самозапилення і штучного перехресного запилення може варіювати в популяціях жита, що є важливим у розумінні динаміки *Sf*-алелей. За даними цих авторів можна очікувати високий рівень перехресного запилення якщо в попередньому році був високий рівень самозапилення. Тобто, можна очікувати невисокий коефіцієнт зав'язування насіння [22].

Для запобігання втрат насіння, іншими словами інбредної депресії, нами використувалось як самозапилення у межах одного колоса, так і запилення сестринськими формами, кількох рослин однієї і тієї ж лінії. Використання перезапиленим сибсів дало можливість проводити спрямовану селекцію ліній за різними ознаками, а також дозволило значно зменшити об'єм ізоляції рослин.

Використання цитоплазматичної чоловічої стерильності (ЦЧС) для створення лінійного матеріалу. На сьогодні існує два типи стерильності: Р-тип і R-тип, обумовлених незалежними ядерно-цитоплазматичними системами. Р-тип або *Ramra*-тип стерильності був виділений ученими з Німеччини Х. Х. Гейгером і Ф. К. Шнелем з аргентинського сорту *Ramra* [23]. Робота з вивчення ЦЧС в Інституті рослинництва ім. В. Я. Юр'єва почата з 1963 р. під керівництвом доктора біологічних наук, професора І. М. Полякова. Джерелом ЦЧС був колекційний зразок жита ярового К-9627 (ВІР), з якого А. Ф. Здрілько виділила стерильні за пилком рослини. З огляду на те, що жито ярове у наших умовах не має виробничого значення, з 1965 р. розпочата робота з переводу на стерильну основу кращих сортів жита озимого. Ця робота здійснена методом насичуючих схрещувань стерильного жита ярового сортами жита озимого – Харківська 194, Харківська 55, Харківська 60, Балтія, Волжанка, Житомирська і ін. Харківське джерело ЦЧС надалі стало називати R-тип

[24]. Розроблений А. Ф. Здрілько, цитовано за В. П. Дерев'янко та Д. К. Єгоровим [19], метод створення генетичних систем ЦЧС (стерильна лінія – закріплювач стерильності) за Харківським типом стерильності став основою для отримання аналогічних систем з *Ramra*-типу стерильності в колишніх країнах СЕВ.

Порівняльне вивчення вказаних джерел стерильності в схрещуваннях з лініями і сортами жита озимого виявило різну їх реакцію на гени закріплення стерильності і відновлення фертильності. R-тип легко відновлюється більшістю сортів і ліній, для нього важко виділити закріплювачі стерильності. Сорти і лінії за відношенням до Р-типу мають низьку концентрацію генів – відновників фертильності, але легше підібрати закріплювач стерильності [24]. Цитологічне вивчення показало наявність кількох форм стерильних рослин, які різняться за ступенем редукції пиляків та характером дегенерації пилкових зерен. Тому, з метою отримання великої кількості насіння стерильних форм, перевага була віддана Р – типу стерильності.

Функціонуюча належним чином система чоловічої стерильності, перш за все, необхідна для отримання достатньої кількості насіння в період вивчення інбредних ліній за генетичними і функціональними якостями. У цьому випадку ЧС-рослини використовуються як тестери (материнські рослини). Таким чином, створення вихідного матеріалу для гібридної селекції жита можливе в генетичному середовищі, яке передбачає наявність генетично обумовлених самофертильності і цитоплазматичної чоловічої стерильності.

Для ефективнішої диференціації ліній – кандидатів в закріплювач стерильності і у відновники фертильності, а також оцінки ліній на ЗКЗ і СКЗ використовували декілька однорідних, вузьких у генетичному плані тестерів, різного генетичного походження

У 2011 р. в Національному центрі генетичних ресурсів рослин України нами було зареєстровано спеціально-знакову колекцію ліній-закріплювачів стерильності жита озимого, яка має комплекс господарсько-цінних ознак, а саме: високі показники зимостійкості, продуктивної кущистості; показники ЗКЗ та СКЗ відносяться до першої, другої та третьої групи КЗ. Колекція складається з 15

ліній – закріплювачів стерильності, які створено в лабораторії за останні роки. Колекція є необхідною для селекційного процесу створення високогетерозисних гібридів в Україні та не має аналогів. Вже створений лінійний матеріал потребує постійного контролю генетичних ознак, які пов'язано з закріплювальною або відновлюваною здатністю, а також ознак, які пов'язано з зимоморозостійкістю, посухостійкістю в зв'язку зі змінами погодно-кліматичних умов вирощування. Для цього щороку випробовуються від 200 до 400 тест-гібрида. У цих випробуваннях з невеликою частотою (близько 1 %) виділялися комбінації, що мали конкурсний гетерозис, за використання короткостебельних ліній з домінантним контролем низькостебельності та близько 6 % серед комбінацій з рецесивним контролем довжини стебла.

Чоловічо-стерильні (ЧС) лінії створюються в процесі інбридингу самофертильних ліній шляхом повторних беккросів джерел стерильності. Щорічне самозапилення ліній і схрещування їх з ЦЧС – формою (беккрос) робить ЦЧС – форму близькою за морфотипом до його фертильного аналога. Для використання в селекційній практиці явище цитоплазматичної чоловічої стерильності рослин, для кожної стерильної форми необхідно мати два типи аналогів-запилювачів, із яких один сприяв би збереженню ознаки стерильності у потомстві, другий – відновлював би фертильність пилку.

Основними вимогами для закріплювача стерильності є: наявність нормальної (N) цитоплазми; відсутність генів відновлення фертильності (Rf); висока комбінаційна здатність; достатня насіннева продуктивність; генетична стабільність.

У наших дослідах основним джерелом ЦЧС використана цитоплазма аргентинського жита сорту Пампа (P). У переважній більшості ЦЧС у диплоїдного жита озимого так, як і в інших культурах, чоловіча стерильність контролюється одним геном рецесивного алелю у гомозиготному стані (rfrf), а фертильність – гетерозиготним (Rfrf) або гомозиготним (RfRf) його станом по домінантному алелю:

Проаналізувавши попередні роботи нашої лабораторії та досвід інших авторів ми прийшли до висновку, що при створенні ви-

хідного матеріалу для гетерозисної селекції жита озимого важливим є генетично обумовлена цитоплазматична чоловіча стерильність, що контролюється Rf-генами, та самофертильність, що контролюється Sf-генами. Більшість авторів наголошує на сцепленість цих генів у різних перехресно-запилювальних культур, тобто, вони найчастіше можуть бути розташованими на одній хромосомі [25, 26]. Самофертильність у жита пов'язана з мутаціями в локусах системи самонесумісності: S-локус розташований на хромосомі 1R, Z-локус – на хромосомі 2R [25]. Гени відновлення фертильності знаходяться на хромосомі 4R [27, 28]. Тобто, у жита успадкування генів самофертильності не залежить від успадкування генів відновлення фертильності. Таким чином, при селекції жита на гетерозис є можливим отримання широкого діапазону ліній, що різнилися би за генетичними показниками в системі самофертильність – відновлення фертильності. Якщо для закріплювача стерильності бажаною була б наявність генів самофертильності, то для відновника фертильності найбільшою перевагою мала бути наявність, як генів відновлення фертильності, так і генів самофертильності.

Висновки. Під час роботи і аналізу попередніх робіт лабораторії та інших науковців з селекції на гетерозис жита озимого нами було виділено кілька аспектів, а саме:

1. Для подальшої роботи зі створення та ідентифікації батьківських компонентів гібридів із закріплювальною здатністю стерильності дотримуватись наступної схеми: інтродукція в селекційний матеріал Sf-генів; самозапилення та відбір фертильних рослин; тестування нащадків; перевірка на відсутність Rf-генів; оцінка комбінаційної здатності.

2. Для закріплювача стерильності бажаною є наявність генів самофертильності (Sf-генів), то для відновника фертильності найбільшою перевагою є наявність, як генів відновлення фертильності (Rf-генів), так і генів самофертильності (Sf-генів).

Результати закріплювальної здатності можна аналізувати починаючи з четвертого року насичуючих схрещувань.

3. Для запобігання інбридній депресії необхідне використання змішаної форми запилення, використання самозапилення окремих рослин і отримання сибсів.

4. З метою отримання достатньої кількості насіння використовувати специфічність прояву генів самофертильності. Очікуваним є високий рівень перехресного запилення у випадку попереднього високого рівня само-

запилення.

5. Використання неспорідненого (чужерідного) закріплювача стерильності дозволяє підвищити показники продуктивності рослини.

Використана література

1. FAO. *FAOSTAT – Food Balance Sheets*. 2023. URL: <https://www.fao.org/faostat>
2. Держстат України. *Сільське господарство України: статистичний збірник*. 2023. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>
3. Siekmann D., Jansen G., Zaar A., Kilian A., Fromme F.J., Hackauf B. A Genome-Wide Association Study Pinpoints Quantitative Trait Genes for Plant Height, Heading Date, Grain Quality, and Yield in Rye (*Secale cereale* L.). *Front Plant Sci*. 2021. 12:718081. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.718081>
4. Yehorov D.K., Tsyganko V.A., Yehorova N.Yu., Hlukhova N.A. Effect of seeding rates on grain yield of a female form in winter rye hybridization plots. *Селекція і насінництво*. 2022. Вип. 122. С. 113–127. URL: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2022.271760>
5. Сгоров Д.К. Інноваційні низько витратні технології збільшення урожайності насіння гібридів жита озимого на ділянках гібридизації. *Селекція і насінництво*. 2012. Вип. 102. С. 129–134. URL: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2012.59835>
6. Niedziela A., Bednarek P.T. Population structure and genetic diversity of a germplasm for hybrid breeding in rye (*Secale cereale* L.) using high-density DArTseq-based silicoDArT and SNP markers. *J Appl Genetics*. 2023. Vol. 64. P. 217–229. URL: <https://doi.org/10.1007/s13353-022-00740-w>
7. Gordillo A., Sahr M., Arumugam R. Genomic selection in hybrid rye breeding: from theory to practice. International symposium on rye breeding & genetics. 17–19 June 2025 in Tartu, Estonia. 25. URL: https://ryest2025.ee/userfiles/ryest2025/RYEST_abstract_book_2025_2.pdf
8. Geiger H.N., Schnell F.W. Cytoplasmic Male Sterility in Rye (*Secale cereale* L.). *Crop. Sci*. 1970, Vol. 10. P. 590–593. URL: <https://doi.org/10.2135/cropsci1970.0011183X0010000500043x>
9. Методичні вимоги у сфері насінництва щодо збереження сортових та посівних якостей насіння зернових культур. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України 04 жовтня 2018 року № 476. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 29 жовтня 2018 р. за № 1219/32671. URL: <https://sops.gov.ua/uploads/page/5c07b0e7f32a0.pdf>
10. Arseniuk E., Oleksiak T. Rye production and breeding in Poland. *Plant Breeding and Seed Science*. 2003. Vol. 47. P. 7–16. URL: <https://ojs.ihar.edu.pl/index.php/pbss/article/view/749>
11. Miedaner T., Laidig F. Hybrid Breeding in Rye (*Secale cereale* L.). In: Al-Khayri J., Jain S., Johnson D. (eds) *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals*. Springer, Cham. 2019. Pp. 343–372. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23108-8_9
12. Волкодав В. В. Охорона прав на сорти рослин. Методика Державного випробування сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Київ: 2003. Вип. 1. Ч. 3. 105 с. URL: <https://sops.gov.ua/uploads/page/5a9d4e58b98d0.pdf>
13. Саблук П. Т., Мазоренко Д. І., Мазнева Г. Є. Технології вирощування зернових і технічних культур в умовах Лісостепу України; 2-е вид., доп. ННЦ ІАЕ. Київ, 2008. 720 с.
14. Nilsson N., Lundqvist Arne. The origin of self-compatibility in rye. *Hereditas*. 2010. Vol. 46. Pp. 1–19. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1960.tb03076.x>
15. Hawliczek A., Borzęcka E., Tofil K., Alachiotis N., Bolibok L., Gawroński P., Siekmann D., Hackauf B., Dušínský R., Švec M., Bolibok-Bragoszewska H. Selective sweeps identification in distinct groups of cultivated rye (*Secale cereale* L.) germplasm provides potential candidate genes for crop improvement. *BMC Plant Biology*, 2023. Vol. 23, № 323. URL: <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04337-1>
16. Hackauf B., Wehling P. Approaching the self-incompatibility locus Z in rye (*Secale cereale* L.) via comparative genetics. *Theoretical and Applied Genetics*. 2005. Vol. 110 (5). Pp. 832–845. URL: <https://doi.org/10.1007/s00122-004-1869-4>
17. Miedaner T., Wilde P., Wortmann H. Combining ability of non-adapted sources for male-fertility restoration in Pampa CMS of hybrid rye. *Plant Breeding*. 2005. Vol. 124 (1). Pp. 39–43. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2004.01038.x>
18. Melonek J., Korzun V., Hackauf B. Genomics of self-incompatibility and male-fertility restoration in rye. In *The Rye Genome: Compendium of Plant Genomes*. 2021. Pp. 181–212. Springer. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-83383-1_10
19. Деревянко В.П., Егоров Д.К. Актуальные вопросы гетерозисной селекции озимой ржи. Харьков: «Магда LTD», 2008. 150 с.
20. Мазур З. О. Фенотипова вираженість ознаки самофертильності та елементів продуктивності у жита озимого. *Селекція і насінництво*. 2010. Вип. 98. С. 190–195. URL: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2010.70258>
21. ДСТУ 4522:2006 "Жито. Технічні умови". Київ ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ 2009. 18 с. URL: <https://august.in.ua/sites/default/files/upload/files/dstu4522-2006.pdf>
22. Polanco C., Gonzalez C., Vences F.J., Perez de la Vega M. Non-random mating in a *Secale cereale* L. (rye) population. *Heredity* 1994. Vol. 72. Pp. 549–556. URL: <https://doi.org/10.1038/hdy.1994.75>
23. Miedaner T. Rye. In M. J. Carena (Ed.) *Cereals (Handbook of Plant Breeding)*. 2016. Vol. 3, 2nd ed.,

Pp. 157–181. Springer, New York. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3196-9_5

24. Здрилько А. Ф. Изучение цитоплазматической мужской стерильности у ржи. *Селекция и семеноводство*. Київ. Урожай, 1969. № 14. С. 31–33.
25. Miedaner T., Geiger H.H. Genetics and breeding of rye (*Secale cereale* L.). *Plant Breeding*. 2007. Vol. 126 (1). pp. 1–10. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2007.01323.x>
26. Hackauf B., Wehling Peter P. Approaches to map the self-incompatibility loci in rye and comparison with restorer gene mapping. *Theoretical and Applied Genetics*. 2005. Vol. 110 (3). Pp. 506–514. URL: <https://doi.org/10.1007/s00122-004-1852-8>
27. Wan, H., Yang, M., Li, J. *et al.* Cytological and genetic effects of rye chromosomes 1RS and 3R on the wheat-breeding founder parent Chuanmai 42 from southwestern China. *Mol Breeding*. (2023). Vol. 43 (5). Is. 40. URL: <https://doi.org/10.1007/s11032-023-01386-0>
28. Hackauf B., Siekmann D., Fromme F.J. Improving Yield and Yield Stability in Winter Rye by Hybrid Breeding. *Plants*. 2022. Vol. 11. 2666. URL: <https://doi.org/10.3390/plants11192666>

References

1. FAO. (2023). *FAOSTAT – Food Balance Sheets*. <https://www.fao.org/faostat>
2. State Statistics Service of Ukraine. (2023). Agriculture of Ukraine: statistical collection. <http://www.ukrstat.gov.ua> [in Ukrainian].
3. Siekmann, D., Jansen, G., Zaar, A., Kilian, A., Fromme, F.J., & Hackauf, B. (2021). A Genome-Wide Association Study Pinpoints Quantitative Trait Genes for Plant Height, Heading Date, Grain Quality, and Yield in Rye (*Secale cereale* L.). *Front Plant Sci.* 12:718081. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.718081>
4. Yehorov, D.K., Tsyganko, V.A., Yehorova, N.Yu., & Hlukhova, N.A. (2022). Effect of seeding rates on grain yield of a female form in winter rye hybridization plots. *Seleksiia i nasinnystvo* [Breeding and Seed Production], 122, 113-127. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2022.271760>
5. Yehorov, D.K. (2012). Innovative low-cost technologies for increasing the yield of winter rye hybrid seeds in hybridization areas. *Seleksiia i nasinnystvo* [Breeding and Seed Production], 102, 129-134. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2012.59835>
6. Niedziela, A., & Bednarek, P.T. (2023). Population structure and genetic diversity of a germplasm for hybrid breeding in rye (*Secale cereale* L.) using high-density DArTseq-based silicoDArT and SNP markers. *J Appl Genetics*, 64, 217–229. <https://doi.org/10.1007/s13353-022-00740-w>
7. Gordillo, A., Sahr, M., & Arumugam, R. (2025). Genomic selection in hybrid rye breeding: from theory to practice. International symposium on rye breeding & genetics. 17-19 June 2025 in Tartu, Estonia. 25. https://ryest2025.ee/userfiles/ryest2025/RYEST_abstract_book_2025_2.pdf
8. Geiger, H.H. & Schnell, F.W. (1970). Cytoplasmic Male Sterility in Rye (*Secale cereale* L.). *Crop. Sci.*, 10, 590–593. <https://doi.org/10.2135/cropsci1970.0011183X001000050043x>
9. Methodological requirements in the field of seed production for the preservation of varietal and sowing qualities of grain seeds. Order of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine dated October 4, 2018 No. 476. Registered with the Ministry of Justice of Ukraine on October 29, 2018. за № 1219/32671. [in Ukrainian]. <https://sops.gov.ua/uploads/page/5c07b0e7f32a0.pdf>
10. Arseniuk, E., & Oleksiak, T. (2003). Rye production and breeding in Poland. *Plant Breeding and Seed Science*, 47, 7–16. <https://ojs.ihar.edu.pl/index.php/pbss/article/view/749>
11. Miedaner, T., & Laidig, F. (2019). Hybrid Breeding in Rye (*Secale cereale* L.). In: Al-Khayri J., Jain S., Johnson D. (eds) *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals*. Springer, Cham. pp. 343-372. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23108-8_9
12. Volkodav, V.V. (2003). Okhorona prav na sorty roslyn. *Metodyka Derzhavnoho vyprovuvannia sortiv roslyn na prydatnist do poshyrennia v Ukraini* [Protection of rights to plant varieties. Methodology of State testing of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine]. Kyiv, 1 (3). 105 p. [in Ukrainian]. <https://sops.gov.ua/uploads/page/5a9d4e58b98d0.pdf>
13. Sabluk, P.T., Mazorenko, D.I. & Maznieva, H.E. (2008). *Technolohii vyroshchuvannia zernovykh i technichnykh kultur v umovakh Lisostepu Ukrainy* [Technologies of cultivation of grain and industrial crops in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine]. 2-nd ed., suppl. NNZIAE. Kyiv. P. 1–19. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1960.tb03076.x> [in Ukrainian].
15. Hawliczek, A., Borzęcka, E., Tofil, K., Alachiotis, N., Bolibok, L., Gawroński, P., Siekmann, D., Hackauf, B., Dušinský, R., Švec, M., & Bolibok-Braęoszewska, H. (2023). Selective sweeps identification in distinct groups of cultivated rye (*Secale cereale* L.) germplasm provides potential candidate genes for crop improvement. *BMC Plant Biology*, 23, 323. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04337-1>
16. Hackauf, B., & Wehling, P. (2005). Approaching the self-incompatibility locus Z in rye (*Secale cereale* L.) via comparative genetics. *Theoretical and Applied Genetics*, 110 (5), 832–845. <https://doi.org/10.1007/s00122-004-1869-4>
17. Miedaner, T., Wilde, P., & Wortmann, H. (2005). Combining ability of non-adapted sources for male-fertility restoration in Pampa CMS of hybrid rye. *Plant Breeding*, 124 (1), 39–43. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2004.01038.x>
18. Melonek, J., Korzun, V., & Hackauf, B. (2021). Genomics of self-incompatibility and male-fertility restoration in rye. In *The Rye Genome: Compendium of Plant Genomes* (pp. 181–212). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83383-1_10
19. Derevianko, V.P., & Yehorov, D.K. (2008). Current issues of heterotic breeding of winter rye. Kharkov: Magda LTD, 2008. 150 p. [in Russian].

20. Mazur, Z.O. (2010). Phenotypic expression of the self-fertility trait and productivity elements in winter rye. *Selektsiia i nasinnytstvo* [Breeding and Seed Production], 98, 190-195. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2010.70258>
21. DSTU 4522:2006 " Rye. Technical specifications ". (2009). Kiiiv State Statistics Service of Ukraine. 18 p. [in Ukrainian]. <https://august.in.ua/sites/default/files/upload/files/dstu4522-2006.pdf>
22. Polanco, C., Gonzalez, C., Vences, F. J., & Perez de la Vega, M. (1994). Non-random mating in a *Secale cereale* L. (rye) population. *Heredity*, 72, 549–556. <https://doi.org/10.1038/hdy.1994.75>
23. Miedaner, T. (2016). Rye. In M. J. Carena (Ed.), *Cereals* (Handbook of Plant Breeding, Vol. 3, 2nd ed., pp. 157–181). Springer, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3196-9_5
24. Zdrilko, A.Ph. (1969). Study of cytoplasmic male sterility in rye. *Selektsiia i nasinnytstvo* [Breeding and Seed Production], 14, 31-33. [in Russian].
25. Miedaner, T., & Geiger, H. H. (2007). Genetics and breeding of rye (*Secale cereale* L.). *Plant Breeding*, 126(1), 1–10. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2007.01323.x>
26. Hackauf, B., & Wehling, Peter, P. (2005). Approaches to map the self-incompatibility loci in rye and comparison with restorer gene mapping. *Theoretical and Applied Genetics*, 110 (3), 506–514. <https://doi.org/10.1007/s00122-004-1852-8>
27. Wan, H., Yang, M., Li, J. *et al.* (2023). Cytological and genetic effects of rye chromosomes 1RS and 3R on the wheat-breeding founder parent Chuanmai 42 from southwestern China. *Mol Breeding*, 43 (5), 40. <https://doi.org/10.1007/s11032-023-01386-0>
28. Hackauf, B., Siekmann, D., & Fromme, F.J. Improving (2022). Yield and Yield Stability in Winter Rye by Hybrid Breeding. *Plants*, 11, 2666. <https://doi.org/10.3390/plants11192666>

UDC 633.14:631.527:575

Yehorov, D. K., Hlukhova, N. A., Nepochatov, M. I. Effect of cytoplasmic male sterility maintainers upon the development of heterotic winter rye hybrids. *Grain Crops*. 2026. 10 (1). 34–42.
Yuriev Plant Production Institute of NAAS, 142 Heroiv Kharkova Ave., Kharkiv, 61060, Ukraine

Topicality. Heterotic winter rye hybrids are multicomponent systems involving a CMS line, a sterility maintainer, and a fertility restorer. However, insufficient attention is often paid to the sterility maintainer, which is frequently regarded merely as an intermediate link in the development of heterotic hybrids. **Purpose.** To analyze the research conducted by the Laboratory of Winter Rye Breeding and Genetics at the Yuriev Plant Production Institute of NAAS within breeding programs for developing maternal components of winter rye hybrids based on Pampa CMS. **Materials and methods.** The analysis covered the Laboratory's research from 1960 to 2025. The study objects were sterility maintainers developed through saturating crosses, the backcross method, repeated inbreeding, and the use of self-fertility genes for Pampa CMS. The total number of lines annually ranged from 242 accessions in 2020 to 568 accessions in 2007. The lines were evaluated for quantitative morphogenetic traits. **Results.** A significant increase in spike productivity was observed when obtaining hybrids with unrelated maintainers in combinations involving lines 1.961358 B, 1.90693 B, 1.90691 B, and 1.961157 B, which are currently used to develop A-lines. Self-fertility donors, cultivars Kharkivska 98 and Stoir, as well as approximately 150 lines, were developed. A collection of 15 sterility maintainers has been registered by the National Center for Plant Genetic Resources of Ukraine. A method for developing CMS genetic systems for both Kharkiv (R-type) and Pampa (P-type) sterility has been developed and is being continuously refined. **Conclusions.** To develop sterility maintainers, the following algorithm should be followed: introduction of Sf-genes into the breeding material; self-pollination and selection of fertile plants; progeny testing; screening for the absence of Rf-genes; and evaluation of combining ability. For a sterility maintainer, the presence of self-fertility genes (Sf-genes) is desirable, while for a fertility restorer, the greatest advantage is the presence of both fertility restoration genes (Rf-genes) and self-fertility genes (Sf-genes). The results of maintaining ability can be analysed starting after the fourth year of saturating crosses. To prevent inbreeding depression, a mixed pollination should be used, combining self-pollination of individual plants with the production of sibs. The specific characteristics of self-pollinating genes should be utilised to obtain a sufficient quantity of seed. A high level of cross-pollination is expected following a previously high level of self-pollination. The use of an unrelated (alien) sterility maintainer allows for an increase in spike productivity parameters.

Key words: rye, heterosis, CMS, sterility maintainer, self-fertility