

ISSN 2409–5524

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
СЕЛЕКЦІЙНО-ГЕНЕТИЧНИЙ ІНСТИТУТ —
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЦЕНТР
НАСІННЄЗНАВСТВА ТА СОРТОВИВЧЕННЯ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

**СЕЛЕКЦІЙНО-ГЕНЕТИЧНОГО ІНСТИТУТУ —
НАЦІОНАЛЬНОГО ЦЕНТРУ
НАСІННЄЗНАВСТВА ТА СОРТОВИВЧЕННЯ**

*Відповідальний редактор
член-кореспондент НААН України В. М. Соколов*

Видання засноване у 1952 році

Випуск 28 (68)

Одеса
СГІ–НЦНС
2016

УДК 633.1(051.2)

Засновник: Селекційно-генетичний інститут — Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

СОКОЛОВ В. М. (відповід. ред.), к. с.-г. н.;
ЛИТВИНЕНКО М. А. (заст. відповід. ред.), д. с.-г. н.;
БАБАЯНЦ О. В., д. б. н.;
БЕЛОУСОВ А. О., д. б. н.;
ВАРЕНИК Б. Ф., к. с.-г. н.;
ВЛАСЕНКО В. А., д. с.-г. н., Сумський нац. аграр. ун-т;
ВОЛКОВА Н. Е., д. б. н.;
ДАВИДЕНКО О. Г., д. б. н., Ін-т генетики та цитології НАН Республіки Білорусь;
КІНДРУК М. О., д. с.-г. н.;
ЛАВРИНЕНКО Ю. О., д. с.-г. н., Ін-т зрош. землероб. НААН України;
ЛИФЕНКО С. П., д. с.-г. н.;
ЛІНЧЕВСЬКИЙ А. А., д. с.-г. н.;
ЛЯХ В. О., д. б. н., Запорізький нац. ун-т;
МАРТОН Л. Ч., д. н., Ін-т с.-г. Центру с.-г. досліджень Угорської АН;
ПУШКАРЕНКО О. Я., к. б. н.;
РИБАЛКА О. І., д. б. н.;
СІЧКАР В. І., д. б. н.;
СТЕЛЬМАХ А. Ф., д. б. н.;
ФАЙТ В. І., д. б. н.

Збірник наукових праць СГІ–НЦНС № 28 (68) містить статті з питань селекції пшениці, кукурудзи, соняшнику з висвітленням результатів схрещувань задля підвищення врожайності, стійкості до посушливих умов і захворювань одержуваних ліній, сортів та гібридів, як і конкретні пропозиції щодо використання створеного й оціненого за стійкістю до фітопатогенів нового вихідного матеріалу.

Розглянуті генетичні відмінності сортів-дворучок м'якої пшениці за фотоперіодичною чутливістю, особливості андрогенезу у ліній пшениці Одеська 51 з алелем короткостебловості Rht-B1e, ефективність різних генів стійкості до бурої іржі у міжлінійних гібридів ярої пшениці та ін.

Вміщені статті щодо оцінки показників харчової та кормової цінності зерна ячменю, зеленої маси різних морфотипів білого люпину, а також зв'язку ушкодження сої листогризуками з кількістю накопичених флавоноїдів у рослинах.

Цікава тема порушена в огляді з питань редагування геномів сільськогосподарських культур у селекції.

Збірник розрахований на науковців, селекціонерів, викладачів, аспірантів, студентів біологічного та сільськогосподарського профілів.

Під назвою «Збірник наукових праць Селекційно-генетичного інституту — Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення» виходить з 2002 року

ЗМІСТ

СЕЛЕКЦІЯ

ЛИТВИНЕНКО М. А., АЛЕКСЕЄНКО Є. В. Мінливість посівних, урожайних якостей насіння та зимостійкості пшениці м'якої озимої (<i>Triticum aestivum</i> L.) в залежності від терміну пророщування насіння . . .	7
НАРГАН Т. П., МОЦНИЙ І. І., СЕЧНЯК В. Ю., ЛИФЕНКО С. П. Оцінка ліній пшениці м'якої озимої (<i>Triticum aestivum</i> L.) від віддаленої гібридизації за господарсько корисними ознаками	15
БЕЛОУСОВ А. О., СОКОЛОВ В. М., СЕРІКОВ В. О., СЛОБОДЯН Р. П., БОРЩЕВСЬКИЙ О. В., МОЛОДЧЕНКОВА О. О., АДАМОВСЬКА В. Г. Напрями та результати селекції кукурудзи (<i>Zea mays</i> L.) у СГП–НЦНС на посухостійкість	33
ВАРЕНИК Б. Ф., БОРОВСЬКА І. Ю., ДАРМОРИС К. М. Стійкість до захворювань самозапилених ліній та гібридів соняшнику (<i>Helianthus annuus</i> L.) вітчизняної селекції	44
РИБАЛКА О. І., ПОЛІЩУК С. С., ЩЕРБИНА З. В. Оцінка показників харчової цінності зерна ячменю (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	56
БАБАЯНЦ О. В., САУЛЯК Н. І., БАБАЯНЦ Л. Т., ТЕРНОВИЙ К. П., ГАЛАЄВ О. В. Новий вихідний матеріал для селекції пшениці (<i>Triticum aestivum</i> L.) на групову стійкість до фітопатогенів	68

ГЕНЕТИКА

ФАЙТ В. І., ГУБИЧ О. Ю., БАЛАШОВА І. А. Відмінності сортів-дворучок пшениці м'якої (<i>Triticum aestivum</i> L.) за генами <i>Ppd-1</i> фотоперіодичної чутливості	76
МОЦНИЙ І. І., СУДАРЧУК Л. В., РИБАЛКА О. І. Поведінка хромосом у мейозі гібридів F_1 лінії Paxon MA1 з сортом пшениці м'якої озимої (<i>Triticum aestivum</i> L.) Куяльник	86
БОЙКО М. С., ЧЕБОТАР Г. О., МОЦНИЙ І. І., ШЕСТОПАЛ О. Л., ЧЕБОТАР С. В. Особливості андрогенезу у ліній пшениці м'якої озимої (<i>Triticum aestivum</i> L.) Одеська 51 з алелем <i>Rht-B1e</i> короткостебловості	98
ГАЛАЄВ О. В. Ефективність різних генів стійкості до бурої іржі та їхніх комбінацій у міжлінійних гібридів пшениці ярої (<i>Triticum aestivum</i> L.) в умовах Півдня України	109

БІОХІМІЯ

БРОДЕЦЬКА К. П., БРОДЕЦЬКА О. М., БАБЕНКО Г. І. Показники кормової цінності зеленої маси різних морфотипів білого люпину (<i>Lupinus albus</i> L.)	123
ХОДАКОВ І. В. Зв'язок ушкодження сої (<i>Glycine max</i> L.) листогризуками комахами з накопиченням флавоноїдів у рослинах . . .	130

ОГЛЯДИ

ВОЛКОВА Н. Е. Редагування геномів у селекції рослин (мініогляд) . .	141
---	-----

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЕКЦИЯ

- ЛИТВИНЕНКО Н. А., АЛЕКСЕЕНКО Е. В. Изменчивость посевных, урожайных качеств семян и зимостойкости пшеницы мягкой озимой (*Triticum aestivum* L.) в зависимости от продолжительности проращивания семян 7
- НАРГАН Т. П., МОЦНЫЙ И. И., СЕЧНЯК В. Е., ЛЫФЕНКО С. Ф. Оценка линий пшеницы мягкой озимой (*Triticum aestivum* L.) от отдаленной гибридизации по их хозяйственно полезным признакам 15
- БЕЛОУСОВ А. А., СОКОЛОВ В. М., СЕРИКОВ В. А., СЛОБОДЯН Р. П., БОРЩЕВСКИЙ О. В., МОЛОДЧЕНКОВА О. О., АДАМОВСКАЯ В. Г. Направления и результаты селекции кукурузы (*Zea mays* L.) в СГИ–НЦСС на засухоустойчивость 33
- ВАРЕНИК Б. Ф., БОРОВСКАЯ И. Ю., ДАРМОРИС Е. М. Устойчивость к заболеваниям самоопыленных линий и гибридов подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) отечественной селекции 44
- РЫБАЛКА А. И., ПОЛИЩУК С. С., ЩЕРБИНА З. В. Оценка показателей пищевой ценности зерна ячменя (*Hordeum vulgare* L.) ... 56
- БАБАЯНЦ О. В., САУЛЯК Н. И., БАБАЯНЦ Л. Т., ТЕРНОВОЙ К. П., ГАЛАЕВ А. В. Новый исходный материал для селекции пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на групповую устойчивость к фитопатогенам ... 68

ГЕНЕТИКА

- ФАЙТ В. И., ГУБИЧ Е. Ю., БАЛАШОВА И. А. Различия сортов-двуручек пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.) по генам *Ppd-1* фотопериодической чувствительности 76
- МОЦНЫЙ И. И., СУДАРЧУК Л. В., РЫБАЛКА А. И. Поведение хромосом в мейозе гибридов F_1 линии Равон МА1 с сортом пшеницы мягкой озимой (*Triticum aestivum* L.) Куяльник 86
- БОЙКО М. С., ЧЕБОТАРЬ Г. А., МОЦНЫЙ И. И., ШЕСТОПАЛ О. Л., ЧЕБОТАРЬ С. В. Особенности андрогенеза у линий пшеницы мягкой озимой (*Triticum aestivum* L.) Одесская 51 с аллелем Rht-B1e короткостебельности 98
- ГАЛАЕВ А. В. Эффективность разных генов устойчивости к бурой ржавчине и их комбинаций в межлинейных гибридах пшеницы яровой (*Triticum aestivum* L.) в условиях Юга Украины 109

БИОХИМИЯ

- БРОДЕЦКАЯ Е. П., БРОДЕЦКАЯ Е. М., Бабенко Г. И. Показатели кормовой ценности зеленой массы разных морфотипов белого люпина (*Lupinus albus* L.) 123

ХОДАКОВ И. В. Связь повреждений сои (<i>Glycine max</i> L.) листогрызущими насекомыми с накоплением флавоноидов в растениях	130
--	-----

ОБЗОРЫ

ВОЛКОВА Н. Э. Редактирование геномов в селекции растений (миниобзор)	141
---	-----

CONTENTS

BREEDING

LYTVYNENKO M. A., ALIEKSIEIENKO Ye. V. Variability of yield capacity, seed quality and winter hardiness of winter bread wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) depending on duration of seed germination	7
NARGAN T. P., MOTSNYI I. I., SECHNIAK V. Yu., LYFENKO S. Ph. Evaluation of winter bread wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) lines from wide crosses by their agronomic valuable traits	15
BIELOUSOV A. O., SOKOLOV V. M., SIERIKOV V. O., SLOBODIAN R. P., BORSHCHEVSKII A. V., MOLODCHENKOVA O. O., ADAMOVSKA V. G. Trends and results of the maize (<i>Zea mays</i> L.) breeding for drought resistance in PBGI — NCSCI	33
VARENYK B. F., BOROVSKA I. Yu., DARMORYS K. M. Resistance to diseases of sunflower inbred lines and hybrids (<i>Helianthus annuus</i> L.) of Ukrainian breeding	44
RYBALKO O. I., POLYSHCHUK S. S., SHCHERBYNA Z. V. The estimation of grain nutritional value indexes of barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	56
BABAINTS O. V., SAULIAK N. I., BABAINTS L. T., TERNOVYI K. P., GALAEV A. V. The new initial breeding material of wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) for selection to complex resistance to phytopathogenes	68

GENETICS

FAYT V. I., HUBICH O. Yu., BALASHOVA I. A. Differences of alternative varieties of bread wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) for the genes <i>Ppd-1</i> of photoperiodic sensitivity	76
MOTSNYI I. I., SUDARCHUK L. V., RYBALKO O. I. Investigation of chromosome behavior in meiosis of F_1 hybrids between the line Pavon MA1 and winter bread wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) cultivar Kuyal'nik	86
BOYKO M. S., CHEBOTAR G. O., MOTSNYI I. I., SHESTOPAL O. L., CHEBOTAR S. V. Investigation of androgenesis features in bread winter wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) lines Odeska 51 with <i>Rht-B1e</i> allele	98
GALAEV A. V. Effectiveness of different resistance genes to leaf rust and their combinations in interline hybrids of spring bread wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) in South Ukraine	109

BIOCHEMISTRY

BRODETSKA K. P., BRODETSKA O. M., BABENKO G. I. Feeding value indexes of green mass of different morphotypes of white lupin (<i>Lupinus albus</i> L.)	123
KHODAKOV I. V. Accumulation of flavonoids in leaves soybean (<i>Glycine max</i> L.) as a factor of defense against insect-defoliators	130

REVIEW

VOLKOVA N. E. Genomic editing in plant breeding (mini review)	141
---	-----

СЕЛЕКЦІЯ

УДК 633.111.«324»

М. А. ЛИТВИНЕНКО, д. с.-г. н., акад. НААН, зав. від.,
Є. В. АЛЕКСЕЄНКО, к. с.-г. н., пров. наук. співроб.
СГІ–НЦНС, Одеса
e-mail: aev-11@mail.ru

МІНЛИВІСТЬ ПОСІВНИХ, УРОЖАЙНИХ ЯКОСТЕЙ НАСІННЯ ТА ЗИМОСТІЙКОСТІ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТЕРМІНУ ПРОРОЩУВАННЯ НАСІННЯ

Досліджено зв'язок стійкості пшениці м'якої озимої до передзбирального проростання зерна в колосі з посівними, урожайними якістьми насіння та зимостійкістю. Виявлено суттєвий вплив терміну пророщування насіння на врожайність, схожість та зимостійкість. Доведено, що при зростанні терміну проростання насіння перед сівбою погіршуються посівні, урожайні якості насіння, а також зимостійкість.

Ключові слова: пшениця м'яка озима, мінливість, термін проростання, врожайність, якість насіння, зимостійкість.

Вступ. У науковій літературі існує доволі велика кількість методик для дослідження наслідків передзбирального проростання зерна в колосі, тобто впливу цього явища на господарсько-біологічні ознаки та властивості насіння. Більшість з них базується на провокаційному пророщуванні зерна в обмолоченому та необмолоченому стані на фоні різних температур [1–3], визначенні числа падіння за допомогою приладу Хагберга — Партена [4; 5] та періоду спокою насіння [6], використання білкових маркерів [7]. Водночас літературні джерела містять лише фрагментарні дослідження впливу означених показників на господарсько та біологічно цінні ознаки й властивості зернових культур.

Метою наших досліджень є виявлення зв'язку стійкості пшениці м'якої озимої до проростання зерна в колосі з посівними, урожайними якістьми насіння та зимостійкістю культури.

Матеріал та методика досліджень. Для досягнення поставленої мети взяли групу зразків з різним періодом спокою насіння. Найбільш контрастними за даною ознакою були Еритроспермум 2810/85 (середній період спокою 20 діб), Обрій (50 діб), Надія (55 діб).

Еритроспермум 2810/85 — селекційна лінія, яку отримано у відділі селекції та насінництва пшениці СГІ–НЦНС від простого схрещування

Еритроспермум 410/82 х Південна зоря. Середньоросла (90–100 см). Різновид еритроспермум.

Обрій — сорт створено в лабораторії селекції інтенсивних сортів пшениці СГІ–НЦ схрещуванням (Ред Рівер 68 х Одеська 51) х Одеська 51 з наступним багаторазовим добором. Різновид — еритроспермум. Напівкарлик, висота 70–88 см. Virізняється відмінними хлібопекарськими властивостями борошна.

Надія — створено у відділі селекції та насінництва пшениці потрійним схрещуванням F_1 (Лютесценс 2781 х Одеська 51) з сортом Бригантина й дворазовим індивідуальним добором на природному інфекційному фоні кращої лінії. Різновид — лютесценс. Висота середня, 90–100 см. Virізняється комплексною стійкістю до фітозахворювань, а також високою стійкістю до проростання зерна в колосі.

Провокаційне зволоження до 100 %-го рівня щойно зібраних зразків насіння масою по 2 кг перед пророщуванням обробляли ранцевим оприскуванням у металевих ящиках за методикою авторів цього дослідження. Під час зволоження матеріал ретельно перемішували. Після зволоження, через рівні проміжки часу, з інтервалом 12 та 24 години, підраховували проросле насіння у відсотках до загальної кількості. Потім пророщене насіння підсушували в природних умовах до стандартної (13 %) вологості і в подальшому використовували його в дослідженнях.

Висівали пророщене насіння у польових умовах з нормою 4,5 млн шт. на 1 га в ділянках площею 10 м² у трикратній повторності.

Урожайність, масу 1000 насінин та зимостійкість у польових умовах визначали за загальноприйнятими методами. Лабораторну схожість визначали за ДСТУ 4138–2002 [8], польову — за методикою В. П. Коновалова [9].

Результати досліджень. Одразу ж після підсушування пророслого насіння контрастних за ознакою стійкості до проростання зерна в колосі селекційних зразків Еритроспермум 2810/85, Обрій та Надія було визначено масу 1000 насінин в залежності від тривалості періоду їхнього проростання (рис. 1).

Аналіз даних рисунка 1 показав, що відносно контролю (до непророщуваного насіння) кількість пророслого насіння (у %) зі збільшенням тривалості його пророщування зростала, а маса 1000 насінин стабільно знижувалась у варіантах досліду від 0 до 72 годин з інтервалом у 12 годин. Отримано достовірні коефіцієнти кореляції X ($r = -0,99$) між терміном проростання насіння та його вагою. Це зниження відбувалося як у нестійкого до проростання в колосі зразка Еритроспермум 2810/85 так і у середньостійкого Обрія та стійкого зразка — Надії. Візуально процес проростання почав спостерігатися через 36 годин, де у нестійкої лінії Еритроспермум 2810/85 було 15 % пророслого насіння, середньостійкого Обрія — 11 та стійкої Надії — 6 %. Найбільше пророслого насіння у варіанті досліду з 72-годинним пророщуванням було у нестійкого Еритроспермум 2810/85–63 %. Це на 20 % більше, ніж у середньостійкого

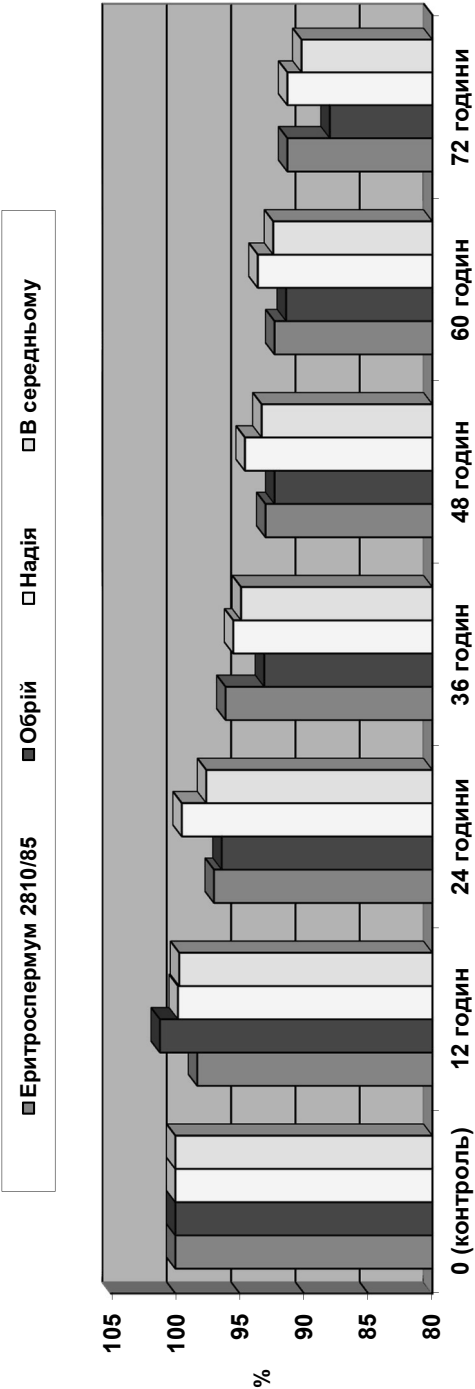


Рис. 1. Динаміка зміни маси 1000 насінин (у % до контролю) в залежності від терміну їхнього проростання (в середньому за 2 роки)

Обрія, та на 37 % — ніж у стійкої Надії. Маса 1000 насінин знижувалась як в абсолютних величинах, так і у відсотках. Незначне зростання маси 1000 насінин через 12 годин проростання середньостійкого Обрія, скоріше за все, викликано підвищеною водопоглинальною здатністю зерна. Отримані достовірні коефіцієнти кореляції свідчать про суттєвий вплив терміну пророщування насіння на кількість пророслого його у % та динаміку зміни маси 1000 насінин.

Схожі дані були отримані в дослідженні динаміки зміни врожайності контрастних за ознакою стійкості зразків пшениці м'якої озимої в залежності від терміну пророщування їхнього насіння перед сівбою (рис. 2).

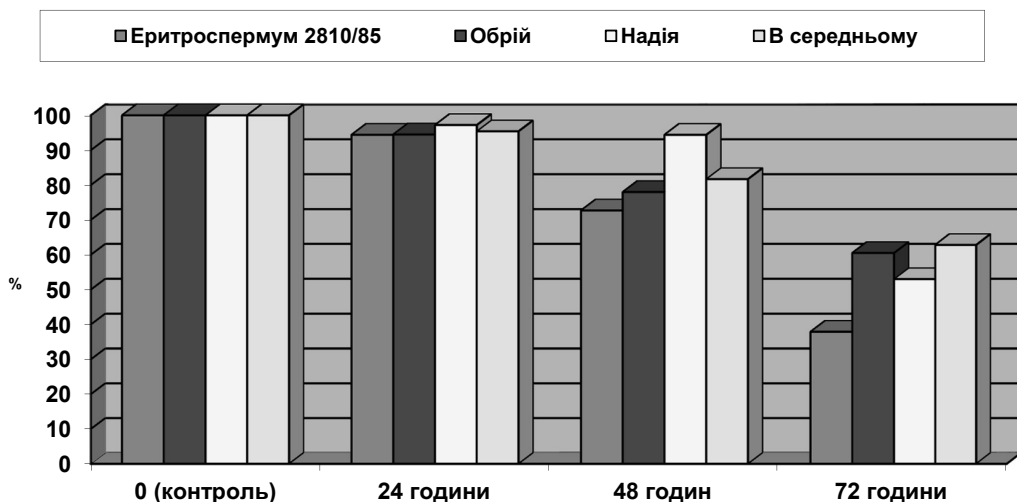


Рис. 2. Динаміка мінливості урожайності (у % до контролю) зразків пшениці м'якої озимої в залежності від терміну їхнього пророщування (в середньому за два роки)

Як видно з рисунка 2, зі збільшенням кількості пророслого насіння перед сівбою Еритроспермум 2810/85, Обрій та Надія у кожному варіанті дослідження з пророщуванням через 24 години врожайність стабільно зменшувалась. Підтвердженням цього є достовірні коефіцієнти кореляції в середньому ($r = -0,97$) між терміном проростання насіння та його врожайністю. Скоріш за все, це пов'язано як зі зниженням схожості й загибеллю зразків найбільш пророслого насіння, так і зі зменшенням загальної кількості рослин на 1 м² і пониженою здатністю таких рослин до формування додаткових продуктивних стебел у результаті кущення. Отже, це є темою додаткових досліджень.

Крім того, не можна виключати й того факту, що насіння під час пророщування, в результаті фізіолого-біохімічних реакцій всередині зернівки, втрачає велику кількість запасних поживних речовин та енергії на їхній розпад у процесі інтенсивного дихання під час зволоження, тобто відбувається так званий процес «стікання» зерна [10]. Тому сходи, отримані з такого насіння, є послабленими і не здатні повною мірою протистояти

несприятливим умовам осінньо-зимового періоду, що і може слугувати однією з причин зниження врожайності. І чим більший термін пророщування насіння, тим значніше зниження врожаю, отриманого з такого насіння.

Розглянемо динаміку зміни схожості насіння контрастних за стійкістю до проростання зразків пшениці м'якої озимої (рис. 3).

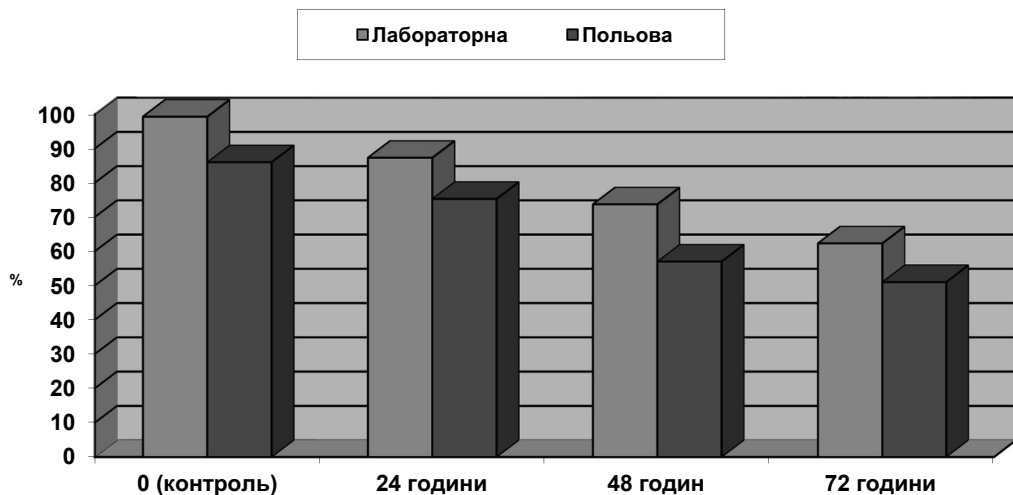


Рис. 3. Динаміка зміни середньої схожості зразків пшениці м'якої озимої (у % до контролю) в залежності від терміну їхнього проростання (за дворічними даними)

Виходячи з даних рисунка 3, можна зауважити значне зниження лабораторної та польової схожості зі зростанням терміну проростання насіння. Найбільш інтенсивно знижується схожість як лабораторна, так і польова у нестійкого зразка Еритроспермум 2810/85 та середньостійкого Обрія. При цьому величина зниження лабораторної схожості склала 56 % у Еритроспермум 2810/85 і 35 % у Обрія. Зниження польової схожості досягало 51 % у Еритроспермум 2810/85 і 39 % у Обрія. У стійкого зразка Надія розмах зниження значень схожості був найнижчий і складав 20 % за лабораторною схожістю і 15 % за польовою. При цьому величина зниження зазначених показників була тим більшою, чим менш стійким до проростання був селекційний зразок. Це підтверджується також отриманими високими коефіцієнтами кореляції між терміном проростання насіння та його схожістю ($r = -0,95-1,00$). Вочевидь, зниження схожості як лабораторної, так і польової, у досліджених зразків пов'язане насамперед з розтратою пластичних речовин зернівкою в результаті фізіологічних та біохімічних процесів і, як наслідок, ослабленістю та повною загибеллю рослин з такого насіння [10].

Щодо зимостійкості зразки також вели себе у відповідності зі здатністю до швидкого проростання та в залежності від терміну проростання насіння перед сівбою (рис. 4).

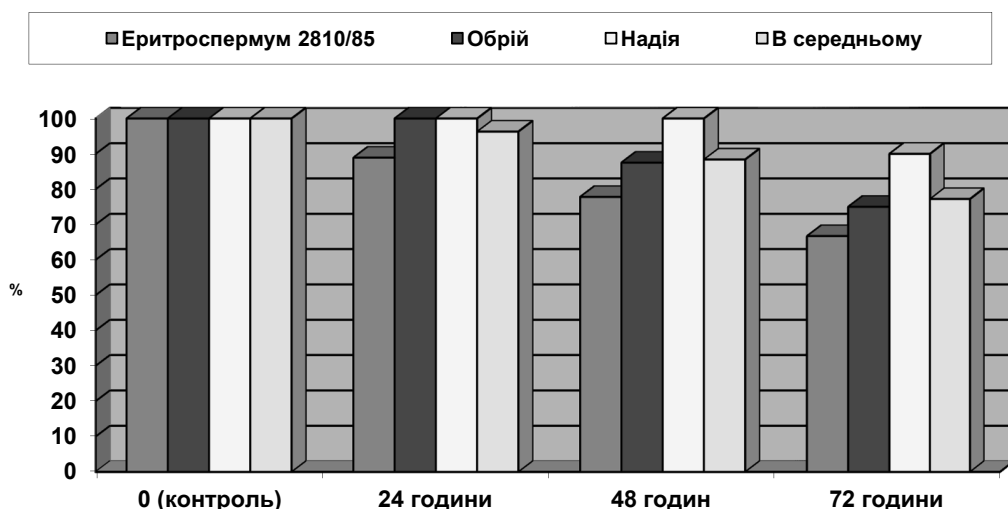


Рис. 4. Динаміка зміни зимостійкості зразків (у відсотках до контролю), одержаних з пророслого насіння (в середньому за два роки)

Дані рисунка 4 свідчать, що всі досліджені зразки мають тенденцію до зниження зимостійкості у міру підвищення терміну проростання насіння перед сівбою. Величина зниження зимостійкості між контролем та максимальним терміном проростання насіння у 72 години складала від 43,3 % — у нестійкого до проростання зерна в колосі зразка Еритроспермум 2810/85 до 25 % — у середньостійкого Обрія та 10 % — у стійкої Надії. На нашу думку, це пов'язано з повільним осіннім розвитком рослин, висіяних насінням з пошкодженням від проростання зародком і за недостатньої кількості пластичних речовин у ендоспермі після розпаду їх у процесі «стікання». У нестійкого до проростання зразка Еритроспермум 2810/85 і середньостійкого Обрія ця тенденція до зниження виражена більше, ніж у стійкої Надії. У стійкого до проростання в колосі сорту Надія ледь помітне зниження здатності переносити несприятливі умови перезимівлі спостерігалось тільки після 72-годинного проростання зернівок перед сівбою, в той час як у середньостійкого Обрія — через 48 годин.

Висновки. Збільшення терміну проростання насіння перед сівбою погіршує посівні, урожайні якості насіння пшениці м'якої озимої, а також знижує здатність рослин, що розвиваються з такого насіння, переносити несприятливі умови перезимівлі. Величина зниження цих якостей насіння має тісні корелятивні зв'язки зі ступенем стійкості зразків до проростання їх у колосі перед збиранням. Це можна пояснити пошкодженням зародків у процесі проростання, всиханням насіння і загальним ослабленням проростків від недостатньої кількості пластичних речовин у ендоспермі зернівки після втрати їх у процесі «стікання».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Lallukka Ulla. The effect of the temperature during the period prior to ripening on sprouting in the ear in rye and wheat varieties grown in Finland / Ulla Lallukka // Cereal Res. Commun. — 1976. — 4, № 2. — P. 93–96.
2. Noll J. S. Of extending the testing period for harvest-time dormancy in wheat / J. S. Noll, E. Crarnecki // Cereal Res. Commun. — 1980. — 8, № 1. — P. 233–238.
3. Ларионов Ю. С. Новый метод оценки устойчивости к прорастанию на корню / Ю. С. Ларионов, Л. М. Ларионова // Селекция и семеноводство. — 1981 — № 8. — С. 23–24.
4. Oetter Giffa. Analysis of a diallel cross among eight secondary hexaploid triticales for falling number / Giffa Oetter // Acad. Landwirtschaftswiss. DDR. — 1988. — № 226. — С. 643–652.
5. Ракитина А. Н. Оценка устойчивости ржи к прорастанию зерна в колосе / А. Н. Ракитина // Селекция и семеноводство. — 1977. — № 4. — С. 17–18.
6. Алексеев Є. В. Період спокою та його вплив на господарсько-біологічні ознаки озимої м'якої пшениці в залежності від проростання насіння / Є. В. Алексеев, М. А. Литвиненко // Актуальні проблеми ефективного використання зрошуваних земель: зб. наук. пр. — Х: Айлант, 1998. — № 2. — С. 120–123.
7. Литвиненко М. А. Використання білкових маркерів у селекції пшениці м'якої озимої на стійкість до проростання зерна в колосі / М. А. Литвиненко, Є. В. Алексеев // Збірник наукових праць СГІ–НЦНС. — 2013. — Вип. 21(61). — С. 39–43.
8. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості: ДСТУ 4138–2002. Держстандарт України. — К., 2002. — 330 с.
9. Коновалов В. П. Некоторые вопросы методики определения полевой всхожести семян / В. П. Коновалов // Биология и технология семян. — 1974. — С. 332–335.
10. Холодный Н. Г. Дождь и истекание растений / Н. Г. Холодный // Среди природы и в лаборатории. — М., 1949. — Вып. 1. — С. 138–145.

Надійшла 14.12.2016

UDC 633.111. «324»

Lytvynenko M. A., Aliksieienko Ye. V. Plant Breeding and Genetics Institute — National Center of Seed and Cultivar Investigations

**VARIABILITY OF YIELD CAPACITY, SEED QUALITY AND WINTER
HARDINESS OF WINTER BREAD WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.)
DEPENDING ON DURATION OF SEED GERMINATION**

It was investigated variability of yield capacity, seed quality and hardiness winter bread wheat in depending from length of seed germination.

It found a significant effect of the duration of seed germination on productivity, germination and winter hardiness. It proved that with increasing du-

ration of seed before sowing happening germination deterioration seed yield and hardiness.

УДК 633.111. «324»

Литвиненко Н. А., Алексеенко Е. В. Селекционно-генетический институт — Национальный центр семеноведения и сортоизучения

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОСЕВНЫХ, УРОЖАЙНЫХ КАЧЕСТВ СЕМЯН
И ЗИМОСТОЙКОСТИ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ ОЗИМОЙ (*TRITICUM
AESTIVUM* L.) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ
ПРОРАЩИВАНИЯ СЕМЯН**

Исследована изменчивость посевных, урожайных качеств семян и зимостойкости пшеницы мягкой озимой в зависимости от продолжительности их проращивания.

Установлено существенное влияние продолжительности прорастания семян на урожайность, всхожесть и зимостойкость. Доказано, что при увеличении продолжительности прорастания семян перед посевом происходит ухудшение посевных, урожайных качеств семян, а также зимостойкости.

УДК 633.11:575.116

Т. П. НАРГАН, к. с.-г. н., старш. наук. співроб.,
І. І. МОЦНИЙ, к. б. н., пров. наук. співроб.,
В. Ю. СЕЧНЯК, к. с.-г. н., пров. наук. співроб.,
С. П. ЛИФЕНКО, д. с.-г. н., проф., акад. НААН України, гол. наук. співроб.
СГІ–НЦНС, Одеса
e-mail: labinsort@ukr.net

ОЦІНКА ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ВІД ВІДДАЛЕНОЇ ГІБРИДИЗАЦІЇ ЗА ГОСПОДАРСЬКО КОРИСНИМИ ОЗНАКАМИ

Наведені результати зі створення нового вихідного матеріалу пшениці м'якої озимої із застосуванням міжвидових схрещувань для селекції на стійкість до борошнистої роси, листової, жовтої і стеблової іржі. Досліджено 44 інтрогресивні лінії та виділено п'ять генотипів, що характеризуються груповою стійкістю: E1598/12, E1433/12, E200/97–2, E242/97–1 і E242/97–2, а також групи генотипів зі стійкістю до трьох, двох хвороб або до одного патогена. Відмічено низьку частоту об'єднання у покращених ліній показників високої стійкості до захворювань з підвищеною урожайністю та високою якістю зерна. Виділені лінії E173/09, Ф185/09, E208/09, які поєднують помірну стійкість до окремих хвороб з відносно високими показниками врожайності та седиментації. На основі літературних джерел наведено дані щодо генетичного зчеплення забарвлення та опушення колоса з гліадиновими та глютеніновими алелями. Показано, що ознаки опушення колоса від амфіплоїда ПЕАГ і червоний колір від сорту Панна можна вважати фенотиповими маркерами якості.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., віддалена гібридизація, транслокація, інтрогресивні лінії, стійкість, продуктивність.

Вступ. Нова селекційна парадигма розглядає врожайність пшениці як похідну двох компонентів — продуктивності і витривалості (адаптивності). Отже, адаптивність — як здатність сорту стабільно забезпечувати досить високі врожаї за сприятливих умов і незначного зменшення врожаю та його якості у несприятливі роки і стійкість до хвороб, шкідників та несприятливих кліматичних чинників може розглядатися як мета селекції [1]. У цьому контексті створення і впровадження у виробництво стійких до фітозахворювань сортів пшениці озимої — це перспективний шлях розвитку сільського господарства, який дає значний економічний ефект та зменшує потребу в застосуванні пестицидів. Саме залучення колекційних стійких донорів, в першу чергу до іржастих хвороб, у схрещування з сортами місцевої селекції та включення їх у гібридизацію з японським сортом

Norin 10 — джерелом генів карликовості з низькою фотоперіодичною чутливістю, стало початком славнозвісної «зеленої революції» у міжнародному центрі поліпшення пшениці та кукурудзи (CIMMIT). Це дало змогу виділити стійкі до хвороб і вилягання, адаптовані до особливостей місцевого клімату високопродуктивні генотипи і подолати основну причину суттєвого зниження врожаїв у країнах третього світу — ураження пшениці хворобами, зокрема іржастими [2]. На жаль, оскільки ефективність існуючих генів стійкості сучасних комерційних сортів поступово втрачається через утворення внаслідок еволюції нових високовірулентних рас патогенів, абсолютної стійкості виду добитись майже неможливо. Тому пошук нових джерел та створення донорів групової стійкості для селекції сортів нового покоління постійно триває [3]. Особливо актуальним це стало останніми роками, коли внаслідок глобальних змін клімату спостерігається і зміна видового складу та шкодочинності збудників захворювань [4].

На фоні кліматичних змін та виникнення нових рас збудників хвороб перспективним напрямом отримання принципово нових генотипів вважається реконструкція геному пшениці м'якої шляхом інтрогресії — включення генетичного матеріалу від інших видів і родів методом віддаленої гібридизації. Відомо, що такі схрещування викликають потужний формотворчий процес, який реалізується у послідовній низці генерацій. Це може надавати величезні можливості добору матеріалу для селекції на високий рівень стійкості до абіотичних стресових чинників та хвороб [5]. Зокрема в лабораторії селекції інтенсивних сортів пшениці СГП–НЦНС особливу увагу звернули на найстійкіший до грибкових хвороб вид пшениці *T. timopheevii* Zhuk. Дослідження показали, що він має комплексний імунітет суто генного (ядерного) типу успадкування. Причому найбільш ефективні гени стійкості локалізовані у специфічному геномі G, якого немає у культурних видів пшениці, що ускладнює передачу генів стійкості. Однак створений у лабораторії сорт Ліона, який у своєму родоводі має *T. timopheevii*, віднесено до групи найбільш стійких до стеблової іржі [6]. Створення сорту з таким типом стійкості — це винятковий успіх, бо саме стеблова іржа тепер є найбільшою загрозою для пшениці у багатьох регіонах світу.

Багато проведено й інших досліджень з міжвидової гібридизації, отримано вкрай цікаві результати з точки зору генетики пшениці, проте в практичній селекції успіхів у цілому не надто багато. Причини такого стану очевидні — кожен вид, а тим паче хороший сорт, являє собою вдалу, навіть унікальну асоціацію генів, що є наслідком тривалої природної еволюції або спрямованого селекційного процесу. Гібридизація, особливо віддалена, у більшості випадків порушує таку унікальність. Тому виявлення селекційно цінних стійких до хвороб ліній серед отриманого нами матеріалу від схрещувань з іншими видами і родами є важливим етапом досліджень.

Метою дослідження було виділення ліній-донорів пшениці м'якої озимої, отриманих від міжвидової гібридизації, що є стійкими до розпо-

всюджених листкостеблових хвороб культури та мають високу продуктивність і добру якість зерна, із наявним захисним опушенням на листках і колосі. Матеріалом є похідні від багаторазового схрещування низьковрожайних примітивних ліній або колекційних зразків з сучасними сортами.

Матеріал і методика. У результаті складних схрещувань сортів пшениці м'якої озимої з оригінальними первинними інтрогресивними лініями або зразками з колекції дикорослих видів та амфіплоїдів відділу загальної та молекулярної генетики СГІ–НЦНС, подальших схрещувань гібридів BC_{2-3} з сучасними сортами СГІ–НЦНС (Ніконія, Селянка, Панна, Куяльник) або без цього та 6–8 самозапилень одержано 44 удосконалені інтрогресивні лінії пшениці м'якої озимої, які і були матеріалом дослідження. Лінії передані в лабораторію інтродукції та генетичних ресурсів СГІ–НЦНС та занесені до каталогу бази генетичних даних СГІ–НЦНС (табл. 1). Детальний опис матеріалу та умов досліджень містить наша попередня публікація [7].

Матеріал сіяли 1–2-рядковими ділянками широкорядним способом ручною саджалкою у сівозміні відділу загальної та молекулярної генетики СГІ–НЦНС (м. Одеса) та карантинного розсадника СГІ–НЦНС (с. Дачне Одеської обл.). Ділянки площею 10 м² були розміщені в сівозміні лабораторії селекції інтенсивних сортів пшениці СГІ–НЦНС. Агротехніка загальноприйнята для насінницьких посівів зони Півдня України, попередник — чорний пар. Разом з інтрогресивними лініями досліджувались батьківські форми, гібриди та сорти-стандарти Вікторія одеська (далі Вікторія) і Куяльник. Шляхом порівняння статистичних параметрів кількісних ознак, показників стійкості та визначення наявності/відсутності морфологічних ознак в якості фенотипових маркерів досліджувалась експресія донорських ознак у означених інтрогресивних ліній, їхня продуктивність та вплив чужинного генетичного матеріалу на прояв агрономічних ознак на рівні агроценозу.

Таблиця 1

Перелік вторинних інтрогресивних ліній з номерами каталогу бази даних СГІ–НЦНС

№ з/п	Лінія	Різновид	Родовід ліній	№ каталогу СГІ–НЦНС
1	E83/09	<i>Erythrospermum</i>	Од.267 / ОН232/03 // Од.267 ^{*4}	11628
2	E1597/12	- «-	- «-	11629
3	E1598/12	- «-	- «-	11630
4	Ф93/09	<i>Ferrugineum</i>	Альбатрос / SHA663/01	11631
5	E945/11	<i>Erythrospermum</i>	- «-	11632
6	Ф958/11	<i>Ferrugineum</i>	- «-	11633

* — інтрогресивні лінії названі умовно у зв'язку з наявністю в їхньому родоводі інших видів. Але не всі лінії проаналізовані цитогенетично на наявність інтрогресій.

Продовження табл. 1

№ з/п	Лінія	Різновид	Родовід ліній	№ каталогу СГІ–НЦНС
7	Ф964/11	- «-»	- «-»	11634
8	E137/09	<i>Erythrospermum</i>	Aztec / ES47	11635
9	E1433/12	- «-»	Од.267 / E200/97–2	10342
10	E170/09	- «-»	Од.267 / E200/97–2 // Од.267 ² /3/ Ніконія	10343
11	E173/09	- «-»	- «-»	10344
12	E175/09	- «-»	- «-»	10345
13	Ф178/09	<i>Ferrugineum</i>	- «-»	10346
14	Ф180/09	- «-»	- «-»	10347
15	Ф185/09	- «-»	- «-»	10348
16	E190/09	<i>Erythrospermum</i>	Од.267 / E200/97–2 // Од.267 ² /3/ Селянка	10350
17	E193/09	- «-»	- «-»	10351
18	E194/09	- «-»	- «-»	10352
19	E200/09	- «-»	Г242/97–1 / Од.267 ⁴ // Селянка	12004
20	E202/09	- «-»	- «-»	10355
21	E204/09	- «-»	- «-»	10356
22	E208/09	- «-»	- «-»	12005
23	E211/09	- «-»	Г242/97–1 / Од.267 ⁴ // Панна	10359
24	E212/09	- «-»	Г242/97–1 / Од.267 ³ // Куяльник	12006
25	E214/09	- «-»	- «-»	11636
26	E218/09	- «-»	Од.267 / Н74/90–245 // Од.267 ⁴ /3/ Селянка	10362
27	E1599/12	- «-»	- «-»	10363
28	E230/09	- «-»	Од.267 / Н74/90–245 // Од.267 ³ /3/ Лузанівка	10365
29	E234/09	- «-»	Од.267 / ПЕАГ // Од.267 ³ /3/ Селянка	10366
30	E235/09	- «-»	Од.267 / ПЕАГ // Од.267 ⁵	10367
31	Б238/09	<i>Barbarossa</i>	Од.267 / ПЕАГ // Од.267 ³ /3/ Панна	10368
32	Б241/09	- «-»	- «-»	10369
33	E243/09	<i>Erythrospermum</i>	Од.267 / ЧЕ1341/98 // Од.267 ³	10370
34	Л245/09	<i>Lutescens</i>	Безоста 1 / <i>T. migushovae</i> // Безоста 1*4	10371
35	E247/09	<i>Erythrospermum</i>	Альбатрос / NH161/99 /3/ Ніконія // NE105/99	11637
36	Ф250/09	<i>Ferrugineum</i>	Панна / NHN172/99	10372
37	Г1380/10	<i>Hostianum</i>	Од.267 / АД Жирова // Од.267 ³	10373
38	Г1381/10	- «-»	- «-»	10374
39	E29ф/11	<i>Erythrospermum</i>	Г242/97–2 / 798/93	11639
40	Н74/90–245	<i>Erythrospermum</i>	Tom Pouce Blanc /	10375
41	Н74/90–258	- «-»	АД(<i>T. timopheevii</i> × <i>Ae. tauschii</i> ssp. <i>strangulata</i>)// Аврора /3/Русака	10376

Закінчення табл. 1

№ з/п	Лінія	Різновид	Родовід ліній	№ каталогу СГІ–НЦНС
42	E200/97–2	<i>Erythrospermum</i>	Тритикале АД825 / <i>T. durum</i>	10377
43	Г242/97–1	Hostianum	Чорномор F ₃ // H74/90–245 або H74/90–258	11638
44	Г242/97–2	- «-	- «-	10378
45	Куяльник, st.	<i>Erythrospermum</i>		09291
46	Вікторія, st.	- «-		09933

Фітопатологічну оцінку здійснювали протягом 2007–2015 рр. у польових умовах на фоні природних епіфітотій борошністої роси (*Blumeria graminis* (DC) Speer f. sp. *tritici* March.) — 2008, 2013, 2014 рр., листової (*Puccinia triticina* Erikss. and Henn.) — 2009, 2011, 2012, 2014 рр. та жовтої (*Puccinia striiformis* West.) — 2013, 2015 рр. іржі, а також септоріозу (*Septoria tritici* Rob. ex Desm). Стійкість до бурої листової та стеблової (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Erikss. and Henn.) іржі додатково оцінювали на штучному інфекційному фоні в розсаднику зараження відділу фітопатології та ентомології СГІ–НЦНС, де інтенсивність ураження накопичувачів інфекції становила 1–2 бали. Ступінь стійкості генотипів визначали за інтенсивністю ураження за 9-бальною інтегрованою шкалою [8]. Позначення 7;3 означає сегрегацію, 7(3) — серед стійких в основному рослин зрідка зустрічались сприйнятливі.

Показники якості борошна визначали методом седиментації SDS30, розробленим у відділі генетичних основ селекції СГІ–НЦНС [9], та із застосуванням ближньої інфрачервоної спектроскопії за допомогою приладу NIRS5000 (США). В останньому випадку калібрування приладу проводили при визначенні показника седиментації методом Пумп'янського за величиною осаду в 2 %-й оцтовій кислоті після відстоювання протягом 5 хв. Вміст білка визначали за методом К'ельдаля на приладі Kjeltac-Auto 1030, вміст крохмалю — колориметричним методом на приладі Сахариметр універсальний (СУ-5).

Роки досліджень досить сильно різнилися за гідротермічними показниками періоду вегетації і далеко не завжди були оптимальними для росту і розвитку рослин пшениці [7]. Проте в переважній більшості були сприятливими для прояву основних хвороб пшениці, розповсюджених на Півдні України. Лише зимовий період 2010/11 року вирізнявся стійкими тривалими морозами впродовж усього періоду та відсутністю снігового покриву, а весняно-літній період 2011 року був посушливим з температурними показниками в межах норми, що не сприяло розвитку багатьох листостеблових захворювань. Як правило, ураження бурою іржею з'являлися наприкінці квітня, інфекція борошністої роси була присутня на посівах як восени, так і навесні. Поширення інфекції септоріозу в сприятливі для нього роки спостерігалось у фазі молочної стиглості.

Отже, в роки епіфітотій без штучної інокуляції рослин вдалося диференціювати генотипи і виділити лінії, стійкі на природному тлі. Але стосовно листової і стеблової іржі оцінку створених ліній отримали і на штучному інфекційному фоні.

Результати та обговорення. У залежності від року дослідження та походження матеріалу, зокрема джерела стійкості від інших видів, створені інтрогресивні лінії істотно різнилися стійкістю до хвороб та наявністю окремих морфологічних ознак різновиду (опушенням та кольором колоса). Слід зазначити, що в останні роки поширення та інтенсивність ураження пшениці борошнистою росою дещо змінюється, очевидно внаслідок зміни метеорологічних умов. Проте протягом 2007/08 с.-г. року відбулася зміна расового складу захворювання [10], і значна частина ліній втратила стійкість. Епіфітотії бурої листової іржі останнім часом зустрічаються на Півдні України щороку. Останніми роками листова іржа в посівах пшениці проявлялась на різних етапах розвитку рослин. В 2011 р. перші ознаки захворювання рослин відмічено на початку фази колосіння, а в 2009 та 2013 рр. — у фазу наливу зернівки. Максимального розвитку хвороба досягала у фазу молочної стиглості. Спостереження за генотипами виявили у них як досить широку варіабельність ступеня ураження борошнистою росою і листовою іржею за роками, так і різницю між лініями в межах одного року від українських сприйнятливих до стійких (табл. 2).

Перше, очевидно, зумовлено змінами расового складу популяцій патогенів, що підтверджується свідченнями фітопатологів [10; 11; 8]. Друге має генетичні причини. Відомо, що колекційні зразки (Н74/90–245 та Н74/90–258) та окремі вихідні лінії (Е200/97–2, Г242/97–1 і Г242/97–2) мають зумовлений пшенично-житньою транслокацією 1BL.1RS, мало-ефективний в сучасних умовах генний комплекс *Pm8/Lr26/Sr31/Yr9*. Такий же тип генів є у ліній, що мають у родоводі амфіплоїд AD (*T. timopheevii* / *Ae. tauschii*) із Болгарії [12; 13], тому ймовірно, що окремі гени стійкості походять від його складових. Не виключене також можливе комбінування з іншими генами стійкості. Зокрема відомо, що в сортах (Ніконія, Селянка, Куяльник, Панна), які входять до родоводу низки удосконалених сортів і ліній, присутній генний кластер *Pm38/Lr34/Yr18* [14]. Отже, взаємодія кластерів *Pm8/Lr26/Sr31/Yr9* і *Pm38/Lr34/Yr18*, за сприятливих умов, може забезпечувати певний рівень стійкості [15].

У Степу України жовта іржа набуває значного поширення тільки під час епіфітотій в окремі роки, а стеблова іржа зустрічається лише при штучному зараженні, але їхня шкодочинність дуже висока [8]. В період дослідження матеріалу локальні епіфітотії жовтої іржі спостерігались у 2008 та 2015 роках.

При цьому інфекційний фон захворювання був дуже нерівномірний і вогнищний. Польова оцінка стійкості рослин до цих видів іржі показала значний розмах варіації за ознакою (табл. 3). У цілому стійкі лінії, віднай-

дені прямо чи опосередковано (через схрещування з інтрогресивними лініями ОН232/03, Е200/97–2, Г242/97–1 та Г242/97–2) в потомстві колекційних зразків Н74/90–245, Н74/90–258 або *T. migushovae*. В їх родоводі присутня *T. timopheevii* або її голозерний мутант *T. militinae*. В інших комбінаціях за участі амфіплоїдів ES47, ПЕАГ, АД Жирова або похідних амфіплоїдів Н79/9–9 та *Elytricum fertile* (інтрогресивні лінії SHA663/01, ЧЕ1341/98, NH161/99, NHN172/99, NE105/99) форм з високою стійкістю не виявлено. Як правило, лінії, стійкі до стеблової іржі, проявляли стійкість і до листової та жовтої іржі. Проте виділені окремі генотипи, що мають стійкість лише до одного виду іржі (Е170/09, Е173/09, Ф178/09, Ф180/09, Ф185/09, Е235/09, Е238/09). Поява таких ліній дає нам право зробити припущення про можливість детермінації стійкості іншими спадковими чинниками, окрім транслокації 1BL.1RS. До того ж лінії Е170/09, Е175/09, Е194/09, що характеризувались певною стійкістю до стеблової іржі і помірно уражались листовою іржею, не мають означеної транслокації. Це відповідає літературним свідченням [16; 17] стосовно стійкості сортів та інтрогресивних ліній до іржастих хвороб незалежно від наявності пшенично-житньої транслокації. Очевидно, стійкість до видів іржі, детермінована означеною транслокацією, проявляється лише стосовно певного расового складу збудника того чи іншого фітозахворювання. А в генотипах, що мають високу резистентність до зазначених хвороб, присутні й інші ефективні гени стійкості, не пов'язані з цією транслокацією. Певної уваги заслуговує лінія Е214–7/09, яка має ідентифіковану транслокацію 1BL.1RS від сорту Аврора, високу стійкість до стеблової та помірну стійкість до листової іржі, але сильно уражалась жовтою іржею. Це може зумовлюватися виникненням у геномі пшениці домінантних супресорів мутантного походження, здатних пригнічувати чужинні гени стійкості [18].

На протигагу традиційним хворобам, які останніми роками мають відносно низький поріг шкодочинності, більш інтенсивно почав проявлятися септоріоз листя — хвороба, яка у 1990-х роках майже не зустрічалася в зоні Степу України [19]. За даними фітопатологів [8], серед інших видів септоріозу на Півдні України, на відміну від більш північних регіонів, домінує *S. tritici*. Найбільш сильна природна епіфітотія септоріозу спостерігалась влітку 2008 р., що пояснюється збігом кількох чинників: гриби — збудники септоріозу добре перезимували, оскільки була відносно тепла з відлигами зима — середньомісячна температура в грудні, січні і лютому 2007/08 с.-г. році складала 1,5; –0,8; і 1,9 °С відповідно внаслідок випадання дощів у квітні, травні, червні (51,4; 15,3; 41,0 мм відповідно) та відносної вологості 80–90 %. За помірної та не надто високої температури повітря почався інтенсивний розвиток захворювання. Поширення хвороби на дослідних ділянках становило 100 %. Взагалі більшість ліній сильно уражались септоріозом (3–4 бали), але дев'ять — Е175/09, Е230/09, Е234/09, Е247/09, Ф250/09, Е29ф/11, Е200/97–1, Е242/97–1,

Таблиця 2

Стійкість інтрогресивних ліній до борошнистої роси і бурі листкової іржі, бал, по роках

Лінія	Борошниста роса *, природня епіфітія						Листкова іржа							
	2007	2008	2009	2010	2013**		штучний інфекційний фон			природня епіфітія				
							2007	2008	2015	2010	2011	2012	2013	2014
E1597/12		3	4	5	5			8	6	7	7	7	7	7
E1598/12	8	6	7	8	8	8		8	6	7	8	8	8	7
E1433/12	8	6	7	7	6	8	8	7	7	7	7	8	7	8
E173/09	6	5	7	7	6	2	2	3	5	5	4			5
E175/09	8(5)	6	7	8	6	2	2	3	5	5	4		5	3
Ф185/09	8	3	4	5	5	2	2	3	5	4	4			3
E190/09	7	4	6	8	7	8	8	7(3)	7	8	8		7	8
E193/09	8	6	7	8	7	2	2	7	5	7	4			7;5
E194/09	8	6	7	8	7	5	5	5	5	5	4		3	5
E200/09	5	4	6	6	6	8	8	7(3)		6;2				7;4
E202/09	3	3	4	6	6	8	8	7	6	6	7			8
E204/09	7	4	5	7	7	8	8	7	7	7	8			8

E208/09	5	2	6			8	7	8			7	6		8	8
E212/09	5	6	7	6	7	8	7	5	7		7			8	6
E214/09	5	3	6	6	6	7	5	6	8(6)	7(3)	8	5	6	8	6
E218/09	7	3	7;4	7	7	8	7(3)	8	8	7		8	7;3	8;5	9
E1599/12	7	3	7;4	5	6	8	7	4	7	7		6		7	6
E243/09	6	3	6	5	6	2	3	3	3	3			2	3	7;4
Л245/09	5	4	5	5	6	8	6	7	6					7	7
E29ф/11	3	4	4	4	6	7	7	6	8	7		8	6	8	7
Н74/90–245	8	7	9	8	5	6	7	7	8	8	8	8	8	8	7
Н74/90–258	8	7	8	8	5	7	8	8	8	8	8	8	8	8	7
E200/97–2	7	6	7	7	6	7	8	7	8	8	8	8;5	7	8	7;5
Г242/97–1	7	6	8	8	7	7	9	7	8	8	8	8	8	8	7
Г242/97–2	7	6	7	7	6	8	8	7	8	8	8	8	8	8	7
Куяльник	3	3	4	3	4	3	3	4	4	3	4	5	3	4	4
Вікторія	3	4	5	3	4	3	4	4	3	3	3	5	3	5	3

* — в таблиці роки епіфітотії борошністої роси виділені жирним шрифтом;

** — оцінка в сівозміні карантинного розсадника СГ–НЦНС, Дачна, 2013 р.

E242/97–2 — були слабкосприятливими (5 балів), а дві лінії E1433/12 та H74/90–245 виявились помірно стійкими (6 балів). Ці лінії мали різну стійкість до борошнистої роси та видів іржі. Проте серед досліджених інтрогресивних ліній виділені генотипи, що характеризуються стійкістю проти кількох збудників одночасно (E1598/12, E1433/12, E204/09, E208/09, E212/09, E218/09, E200/97–2, E242/97–1, E242/97–2), а тому є особливо цінними як джерела чи донори групової стійкості.

Таблиця 3

Стійкість інтрогресивних ліній до жовтої та стеблової іржі, бал, по роках

Лінія	Жовта іржа, природня епіфітотія		Стеблова іржа, штучний інфекційний фон	
	2008	2015	2007	2015
E1597/12	6	5	8	6
E1598/12	7	7	8	7
E1433/12	4;8	7	7	8
E173/09	7	7	6	4
E175/09	7	7	6	8
Ф178/09	7	7	2	5
Ф180/09	7	7	2	5
Ф185/09	7	7	2	5
E190/09	3	6	7	8
E193/09	7	7	6	7
E194/09	7	6	6	7
E202/09	7	8	8	8
E204/09	7	8	8	8
E211/09	6	6	7	8
E212/09	6	6	8	7
E214/09	1	3	8	7
E218/09	8	7	8	8
E1598/12	4	3	8;4	7
E235/09	7	7	3	3
B238/09	6	6	3	3
E243/09	6	5	5	5
L245/09	7	7	8	6
E29ф/11	4	4	8	8
H74/90–245	7	6	8	8
H74/90–258	8	8	8	8
E200/97–2	5	4	9	7
Г242/97–1	6	7	8	7
Г242/97–2	6	7	8	7
Куяльник	6	5	2	4
Вікторія	6	4	3	5
Суміш сортів індикаторів			1	2

Однією з головних вимог, що постає перед сучасним виробником, є отримання великих валових зборів зерна пшениці з високими показниками його якості. Відомо, що якість зерна пшениці озимої цінується, перш

за все, за вмістом білка у ньому [20]. Отже серед усіх напрямів селекції пшениці на одному із перших місць стоїть підвищення вмісту білка в зерні. Однак пшениця за своєю природою належить до культур з невисоким вмістом білка у зерні. Стосовно цього вона поступається навіть іншим злакам. А пшениця м'яка взагалі посідає майже останнє місце серед поліплоїдного ряду інших видів цього роду. Показник вмісту кількості крохмалю для селекційної оцінки генотипу дуже важливий у зв'язку з тим, що ця ознака пов'язана з виповненістю зерна, а також з якістю самого крохмалю. Покращення цього показника останніми роками стає актуальним напрямом у селекції. У цілому, внаслідок насичення інтрогресивних ліній генетичним матеріалом сучасних високопродуктивних сортів, спостерігається зменшення вмісту білка до рівня сортів-стандартів, з одночасним зростанням урожайності та вмісту крохмалю у покращених ліній (порівняно з колекційними зразками (H74/90–245 та H74/90–258) або первинними інтрогресивними лініями (E200/97–2 і Г242/97–2). Причому за сприятливих умов 2009 року відбулося різке зменшення вмісту білка, особливо у ліній, що характеризувались більш високим його показником в інші роки (табл. 4).

Це пов'язано з вищою урожайністю матеріалу в цілому, а також з тим, що вегетація інтрогресивних ліній триваліша, ніж у сортів з оптимальними показниками для південної зони. Деяким винятком з цієї закономірності можна вважати лінії E173/09, E185/09, E190/09, E193/09, E208/09 та E211/09, у яких було зауважено дещо підвищений вміст білка навіть в урожайному 2009 році. Так, зростання урожайності у лінії E193/09 на 32,5 % та у E185/09 на 42 % не призвело до зменшення вмісту білка, його показник навіть дещо збільшився — на 9,0 та 4,5 % відповідно. А при зростанні урожайності у ліній E173/09 та E190/09 відповідно на 39,1 і 47,5 % кількість білка знизилась несуттєво, лише на 3 та 7,5 % відповідно.

Лінію, яка б поєднувала всі позитивні властивості з високою врожайністю, на жаль, не вдалось виділити. До того ж серед більш продуктивних ліній частина мала низьку якість борошна (седиментація 30,0–42,3 мл), що, вочевидь, пов'язано з присутністю 1BL.1RS транслокації від сорту Аврора. Відомо [9], що седиментація, визначена за об'ємом осаду після 5 хв набухання в 2 %-й оцтовій кислоті, значною мірою залежить від рівня твердозерності та загального вмісту білка в зерні, підвищення якого часто супроводжує транслокацію 1BL.1RS. Проте виділено лінії (E173/09, F185/09, E208/09), що поєднують стійкість до окремих хвороб з відносно високими показниками врожайності та седиментації. За продуктивністю переважна більшість досліджених ліній значно поступалася стандартам (табл. 4), незважаючи на те, що схрещування з сучасними високопродуктивними сортами пшениці були найбільш частими у програмах гібридизації.

Та все ж виділено кілька ліній з ознаками стійкості та урожайністю на рівні стандарту або близькою за значенням. Вивчення цих ліній

Таблиця 4

Біохімічні показники та урожайність інтрогресивних ліній, по роках

Лінія	Вміст, %				Седиментація*, мл		Урожайність, ц/га		
	білка			крох-малю					
	2008	2009	2013	2013	2008	2009	2008	2009	2013
E83/09			12,7	60,7					42,3
E1597/12			12,8	58,8					47,8
E1598/12			13,9	57,5					40,5
Ф93/09			13,5	57,5					39,9
E945/11			13,6	56,9					42,0
Ф958/11			12,8	60,1					46,8
Ф964/11			13,0	58,8					45,4
E1433/12	13,0		14,0	57,5	40,2				43,3
E170/09	13,3	9,0	12,5	60,1	36,4	30,0	56,9	68,7	49,9
E173/09	14,2	12,4	12,8	57,5	49,1	51,7	39,6	65,1	40,2
E175/09	13,3	9,2	12,1	60,1	47,1	36,4	51,2	71,8	46,2
Ф178/09	13,6	11,6	11,9	56,9	45,9	49,7	50,9		42,2
Ф180/09	13,3	10,3	12,6	60,1	43,1	46,6	54,8	61,4	48,6
Ф185/09		13,0	12,6	58,8		58,6	52,0	70,5	40,9
E190/09	13,3	12,3	13,5	58,8	45,5	48,8	32,8	62,5	37,1
E193/09	13,3	14,5	15,8	56,9	45,0	47,4	45,3	67,1	48,2
E194/09	13,4	9,6			46,6	41,4	69,4	73,1	57,5
E200/09	12,4	9,4			44,8	43,9	74,7	74,9	60,4
E202/09	13,2	13,4			41,8	47,6	35,2		40,0
E204/09	14,0	13,0	13,8	56,9	44,3	49,5			48,1
E208/09	12,6	12,1			41,1	51,7	63,5	67,7	62,8
E211/09	13,8	11,6	14,5	57,5	49,8	48,8		62,5	47,3
E212/09	12,3	9,0			47,6	45,5	45,3	78,7	63,5
E214/09	12,3	9,5	12,6	60,1	46,4	45,9	70,2	74,9	62,3
E218/09	13,8	8,7			47,1	33,3	59,7	64,3	42,4
E1599/12			12,5	56,9				69,6	52,6
E230/09	13,6	9,9	13,9	56,3	46,5	45,9	49,8	59,1	47,0
E234/09	11,3	8,2	11,5	62,0	42,3	33,9	57,0	56,7	46,4
E235/09	11,9	9,3	12,7	60,1	45,7	36,0			51,4
Б238/09	12,0	9,3			47,0	40,5	44,4	56,4	34,1
Б241/09	13,0	9,6	12,1	56,3	48,3	45,9	54,9	55,2	55,3
E243/09	12,1	9,2			47,7	41,9	63,3	66,9	38,7
Л245/09	11,8	9,5	15,0	56,3	45,3	40,0	49,2	56,4	41,1
E247/09	13,0		13,8	57,5	46,3				46,0
Ф250/09	12,0		11,9	58,2	35,4				52,2
Г1380/10			12,9	59,4					40,1
Г1381/10			14,8	56,9					39,7

Закінчення табл. 4

Лінія	Вміст, %				Седимента- ція*, мл		Урожайність, ц/га		
	білка			крох- малю					
	2008	2009	2013	2013	2008	2009	2008	2009	2013
E29ф/11			13,1	56,3			53,1	60,8	47,3
H74/90–245		10,0	16,1	56,3		46,7		45,3	48,5
H74/90–258		10,4	15,9	56,3		50,3		50,3	52,4
E200/97–2	15,8	9,3	16,4	56,3		41,6	37,3	41,3	48,4
G242/97–1	13,9	8,9	13,8	58,2	50,0	48,1	44,5	46,1	43,3
G242/97–2	15,0		15,6	57,5	53,8		35,9		45,4
Куяльник	12,0	12,4	14,7	55,0	42,7	46,2	75,2	78,5	63,3
Вікторія	12,7	13,1	13,1	58,2	53,1	54,6	72,2	67,4	65,0
НСР _{0,05}							1,8	2,1	2,2

* — показник визначався на приладі NIRS5000.

у контрольному розсаднику протягом двох років підтвердило наявність у них різного рівня стійкості, окремої або групової, до основних листкостеблових захворювань пшениці на фоні нестабільної по роках урожайності (табл. 5). При цьому лінія E200/09 розщеплювалась за стійкістю до листової та втратила стійкість до стеблової іржі, а лінія E243/09 підтвердила стійкість лише до борошнистої роси. Отже виділені лінії можна вважати донорами стійкості, але їх необхідно поліпшувати стосовно рівня урожайності. З цією метою лінії залучені в гібридизацію з кращими високопродуктивними інтенсивними сортами селекції СГІ–НЦНС.

Слід зазначити, що контрольовані нами ознаки різновиду — опушення і червоний колір колоса фізично розташовані поряд з відповідними кластерами білків клейковини хромосом 1A і 1B. Ген *Hg* тісно зчеплений ($0,3 \pm 0,3$ – $4,0 \pm 1,4$ % рекомбінації) з локусом *Gld-1A* гліадин-глютенінового комплексу [21], який впливає на якість борошна і маркером якого він може служити.

Частина інтрогресивних ліній різновиду *Ferrugineum* чи *Barbarossa* отримала ознаку червоний колір від сорту Панна. Ознака червоного колосу у цього сорту контролюється кількома генами, але найбільш цінним для селекції із них є добре відомий домінуючий ген (*Rg1*), який має високу експресивність і пенетрантність та зчеплений [21] з гліадиновим алелем *Gld-1B*₁₅ ($1,8 \pm 0,8$ – $4,1 \pm 1,5$ % рекомбінації) і глютеніновим алелем *Glu-B1*₇₇₊₈ ($44,3 \pm 3,1$ % рекомбінації), що позитивно впливає на якість борошна. Отже опушення колоса можна рекомендувати як фенотиповий маркер алеля *Gld-1A*₁₀, а червоний колір колоса — відповідно *Gld-1B*₁₅. Обидва гліадинові алелі походять від ярих мексиканських сортів, вони передані в сучасні сорти та перспективні лінії СГІ–НЦНС послідовно через посередництво сортів Одеська красноколоса та Панна і максималь-но посилюють вплив супералеля *Glu-B1*₇₇₊₈ на всі показники якості [22].

Таблиця 5

Стійкість до хвороб, загальна оцінка та якість зерна вивчених інтрогресивних ліній

Лінія	(KP2)		Стійкість до, бал (KP2)					Заг. оцінка, бал		Ур., ц/га		SDS30, мл	
	ДК	BP	Pm	Lr	Yr	Sr	Prf	KP1	KP2	KP1	KP2	KP1	KP2
E194/09	17	88	7	7	5	7	7;4	5+	4	73,1	61,3	88	
E200/09	17	93	6	6;2	8	3	4	5+	4+	74,9	79,7	67	73
E208/09	19	82	5	6	6	5	4	4	4	78,9	70,4	70	
E212/09	17	88	6	5	6	7	6;4–3	5+	4+	78,7	74,1	67	
E214/09	18	92	7	6	4	3–4	4	5+	4+	74,9	74,6	90	72
E243/09	17	90	7	2	5	2	4;5	5-	4	66,9	65,0	93	
Куяльник	16	102	3	2	6	2	6;4	5-	4+	78,5	83,6	87	70
Вікторія	17	97	4	3	5	3	4;5	5-	5-	67,4	81,7	73	70
HCP _{0,05}	0,3	7,5								1,5	1,2		

Примітка: KP1, KP2 — контрольний розсадник першого (2012/13 р.) та другого року вивчення (2014/15 р.); ДК — дата колосіння, травень; BP — висота рослин; Pm, Lr, Yr, Sr, Prf — стійкість відповідно: до борошнистої роси, листової, жовтої і стеблової іржі та піренофорозу; Ур. — урожайність; SDS30 — седиментація SDS30 [9].

Висновки. Серед досліджених інтрогресивних ліній є генотипи, що характеризуються стійкістю проти кількох збудників захворювань пшениці одночасно, а тому мають особливу цінність як джерела групової стійкості. Кращі з них можуть бути використані як донори стійкості до борошнистої роси, бурі, жовтої і стеблової іржі. Незалежно від наявності пшенично-житньої транслокації 1BL.1RS від сорту Аврора, інтрогресивні лінії проявляють стійкість до видів іржі, але за присутності цієї транслокації стійкість підвищується. Широка варіабельність матеріалу за ступенем ураження борошнистою росою і листовою іржею залежить від умов року, а також від змін расового складу популяцій патогенів.

Групову стійкість проти збудників борошнистої роси, бурі, жовтої та стеблової іржі проявили п'ять ліній: E1598/12, E1433/12, E200/97–2, E242/97–1, E242/97–2; стійкими до жовтої, бурі та стеблової іржі були дев'ять ліній: E200/09, E202/09, E204/09, E208/09, E212/09, E218/09, E245/09, H74/90–245, H74/90–258; до борошнистої роси та жовтої і стеблової іржі три лінії: E175/09, E193/09, E194/09; до бурі і стеблової іржі три: E1597/12, E190/09, E29ф/11. По дві лінії проявили стійкість лише до одного збудника хвороби: до жовтої іржі — E173/09 та Ф185/09; до стеблової іржі — E214/09, E1599/09.

Виділені інтрогресивні лінії E173/09, E185/09, E190/09, E193/09, E208/09 та E211/09, які поєднують хорошу якість зерна з урожайністю, що наближається до стандартів зони. Виділені лінії характеризуються

нестабільною за роками урожайністю, тому їх доцільно поліпшувати стосовно показника продуктивності.

Ознаки опушення колоса від амфіплоїда ПЕАГ і червоний колір колоса від сорту Панна можна вважати фенотиповими маркерами якості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Опалко А. І. Батько «зеленої революції» (до 100-річчя з дня народження лауреата Нобелівської премії миру Нормана Борлауга) / А. І. Опалко // Фактори експериментальної еволюції організмів: збірник наукових праць УТГіС. — К.: Логос, 2014. — Т. 15. — С. 10–15.
2. Miller H. I. Norman Borlaug: The genius behind the Green revolution [Електронний ресурс] / H. I. Miller // Forbes. — 2012. — Режим доступу: <http://www.forbes.com/sites/henrymiller/2012/01/18/norman-borlaug-the-genius-behind-the-green-revolution/>
3. Черняєва І. М. Нові джерела стійкості пшениці м'якої озимої до хвороб в умовах північно-східної частини Лісостепу України / І. М. Черняєва, І. С. Лучна, В. П. Петренкова, Я. В. Кочуров // Генетичні ресурси рослин. — 2012. — № 10/11. — С. 132–139.
4. Самець Я. Хвороби пшениці озимої в умовах зміни кліматичних умов / Я. Самець, В. Кулька, Л. Шабатівська // Роль науки у підвищенні технологічного рівня і ефективності АПК України: IV всеукр. наук.-практ. конф., 15–16 травня 2014 р.: матеріали. — Тернопіль: Крок, 2014. — С. 159–161.
5. Давоян Р. О. Генофонд дикорастущих сородичей как источник генетического разнообразия мягкой пшеницы / Р. О. Давоян, И. В. Бебякина, О. Р. Давоян // Генетические ресурсы культурных растений в XXI веке: состояние, проблемы, перспективы: II Вавиловской междунар. конф., 26–30 ноября 2007 г.: тезисы. — Санкт-Петербург: ВИР, 2007. — С. 63–64.
6. Синяк Е. В. Источники устойчивости пшеницы и эгилопса к стеблевой ржавчине (возбудитель *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Erikss. et Henn) [Электронный ресурс] / Е. В. Синяк, Г. В. Волкова, О. П. Митрофанова // Научный журнал Куб ГАУ. — 2011. — № 67 (03). — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/03/pdf/23.pdf>.
7. Моцний І. І. Залучення інтрогресивних ліній для селекції пшениці м'якої озимої / І. І. Моцний, Т. П. Нарган, С. П. Лифенко, М. І. Єриняк // Вісник Харківського національного аграрного університету. Сер.: Біологія. — 2014. — Вип. 1 (31). — С. 79–90.
8. Бабаянц О. В. Основы селекции и методология оценок устойчивости пшеницы к возбудителям болезней: монографія / О. В. Бабаянц, Л. Т. Бабаянц. — Одесса: ВМВ, 2014. — 401 с.
9. Рибалка О. І. Наукове обґрунтування розробки нових методів оцінки хлібопекарської якості борошна пшениці / О. І. Рибалка, М. В. Червоніс, І. Г. Топораш, І. О. Сурженко, О. П. Боделан, З. В. Щербина // Хранение и переработка зерна. — 2006. — № 1 (79). — С. 43–48.
10. Трасковецкая В. А. Расовый состав *Blumeria graminis* (DC) Speer f. sp. *tritici* в степи Украины в 2008–2011 гг. и эффективность *Pm*-генов / В. А. Трасковецкая, О. В. Бабаянц // Тезисы Междунар. научн. конф. к 100-летию СГИ — НЦНС «Селекция и генетика сельскохозяйственных растений: традиции и перспективы», Одесса, 17–19 октября 2012 г. — Одесса, 2012. — С. 310–311.

11. Васильев А. А. Расовый состав *Puccinia triticina* Erikss на Юге Украины в 2004–2012 годах / А. А. Васильев // Тези Міжнар. наук.-практ. конф. «Підвищення стійкості рослин до хвороб і екстремальних умов середовища в зв'язку із задачами селекції», Харків, 11–12 червня 2013 р. — Харків, 2013. — С. 76.
12. Моцний І. І. Успадкування стійкості до хвороб та морфологічних ознак у гібридів м'якої пшениці з інтрогресивними лініями / І. І. Моцний, О. М. Благодарова // Зб. наук. праць СГІ — НАЦ НАІС. — Одеса, 2004. — Вип. 6 (46). — С. 179–193.
13. Моцний И. И. Идентификация 1В-1R транслокации и замещения у интрогрессивных линий озимой пшеницы с помощью биохимических маркеров / И. И. Моцный, Е. М. Благодарова, В. И. Файт // Зб. наук. статей V Міжнар. конф. «Геном рослин». — Одеса, 2008. — С. 98–101.
14. Галаєв О. В. Характеристика сортів пшениці м'якої української і російської селекції за алелями локусу *csLV34*, зчепленого з геном мультипатогенної стійкості *Lr34/Yr18/Pm38* / О. В. Галаєв, Ю. М. Сиволап // Цитология и генетика. — 2015. — Т. 49, № 1. — С. 18–25.
15. Штубей Т. Ю. Цитофизиологические аспекты возрастной устойчивости мягкой пшеницы к возбудителю бурой ржавчины *Puccinia triticina* Erikss / Т. Ю. Штубей // Автореф. дисс. ... к. б. н. — Москва, 2009. — 24 с.
16. Топал М. М. Адаптивні властивості та продуктивність сортів і ліній з пшенично-житніми транслокаціями в умовах Півдня України / М. М. Топал // Зб. наук. праць СГІ–НЦНС. — Одеса, 2014. — Вип. 23 (63). — С. 88–99.
17. Литвиненко М. А. Селекційна цінність транслокації 1AL/1RS щодо стійкості до бурої та стеблової іржі на Півдні України / М. А. Литвиненко, М. М. Топал // Зб. наук. праць СГІ–НЦНС. — Одеса, 2014. — Вип. 24 (64). — С. 85–94.
18. Hanusova R. Suppression of powdery mildew resistance gene Pm8 in *Triticum aestivum* L. (common wheat) cultivars carrying wheat-rye translocation T1BL. 1RS / R. Hanusova, S. L. K. Hsam, P. Bartos, F. J. Zeller // Heredity. — 1996. — V. 77. — P. 383–387.
19. Гешеле Э. Э. Методическое руководство по фитопатологической оценке зерновых культур. — Одесса, 1971. — 57 с.
20. Солодушко М. Особливості вирощування пшениці озимої в умовах північного Степу України / М. Солодушко, І. Середа // Роль науки у підвищенні технологічного рівня і ефективності АПК України: IV всеукр. наук.-практ. конф., 15–16 травня 2014 р.: матеріали. — Тернопіль: Крок, 2014. — С. 169–171.
21. McIntosh R. A. Catalogue of gene symbols for wheat / R. A. McIntosh, Y Yamazaki, J. Dubcovsky [et al.] // Proc. 12th Int. Wheat Genet. Symp. Yokohama, Japan, 8–13 September 2013 / KOMUGI, Wheat Genetic Resources Database. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/download.jsp>.
22. Благодарова О. М. Геногеографія гліадин- і глютенінкодуєчих локусів українських сортів озимої м'якої пшениці і їх зв'язок з агрономічними ознаками / О. М. Благодарова, М. А. Литвиненко, Є. А. Голуб // Зб. наук. праць СГІ–НЦНС. — Одеса, 2004. — Вип. 6 (46). — С. 100–105.

UDC 633.11:575.116

Nargan T. P., Motsny I. I., Sechniak V. Yu., Lyfenko S. Ph. Plant Breeding and Genetics Institute — National Center of Seed and Cultivar Investigations

EVALUATION OF WINTER BREAD WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) LINES FROM WIDE CROSSES BY THEIR AGRONOMIC VALUABLE TRAITS

The results of the creation of a new original material of bread winter wheat using the interspecific crosses for breeding for resistance to powdery mildew, leaf, stem and yellow rusts have been presented. 44 introgression wheat stocks were studied, and five genotypes, characterized by group resistance: E1598/12, E1433/12, E200/97–2, E242/97–1 and E242/97–2 as well as groups of genotypes resistant to three, two or one pathogen were selected. Low frequency of combination of high disease resistance with good yield performance and grain quality was observed at advanced stocks. The stocks: E173/09 F185/09, E208/09, which combine a moderate resistance to certain diseases with relatively high yield and sedimentation value have been isolated. The data on genetic linkage of color and pubescence of the spike with gliadin and gluten alleles have been presented based on the literature. The characters of spike hairiness from amphiploid PEAH and red spike from cv. Panna are shown to be considered as phenotypic markers of quality.

УДК 633.11:575.116

Нарган Т. П., Мощный И. И., Сечняк В. Е., Лыфенко С. Ф. Селекционно-генетический институт — Национальный центр семеноведения и сортоизучения

ОЦЕНКА ЛИНИЙ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ ОЗИМОЙ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ОТ ОТДАЛЕННОЙ ГИБРИДИЗАЦИИ ПО ИХ ХОЗЯЙСТВЕННО ПОЛЕЗНЫМ ПРИЗНАКАМ

Показаны результаты работы по созданию нового исходного материала пшеницы мягкой озимой с использованием межвидовых скрещиваний в селекции на устойчивость к мучнистой росе, листовой, желтой и стеблевой ржавчине. Исследованы 44 интрогрессивные линии и выделены пять генотипов, характеризующиеся групповой устойчивостью: E1598/12, E1433/12, E200/97–2, E242/97–1 и E242/97–2, а также группы генотипов с устойчивостью к трем, двум или одному патогену. Отмечена низкая частота встречаемости сочетания в улучшенных линиях таких показателей, как высокая устойчивость к заболеваниям с хорошей уро-

жайностью и отличными технологическими качествами зерна. Выделены линии E173/09, Ф185/09, E208/09, в которых объединяются средняя устойчивость к отдельным возбудителям болезней с относительно высокими показателями урожайности и седиментации. На основе литературных источников приводятся данные генетического сцепления окраски и опушения колоса с глиадиновыми и глютеиновыми аллелями. Показано, что признаки опушения колоса от амфиплоида ПЕАГ и красный цвет колоса от сорта Панна могут считаться фенотипическими маркерами качества.

УДК 633.15:631.52:581.1

А. О. БЕЛОУСОВ, д. б. н., ст. наук. співроб., зав. від.,
В. М. СОКОЛОВ, к. с.-г. н., чл.-кор. НААН, дир. ін-ту,
В. О. СЕРІКОВ, к. с.-г. н., провід. наук. співроб.,
Р. П. СЛОБОДЯН, мол. наук. співроб.,
О. В. БОРЩЕВСЬКИЙ, мол. наук. співроб.,
О. О. МОЛОДЧЕНКОВА, д. б. н., ст. наук. співроб., зав. лаб.,
В. Г. АДАМОВСЬКА, к. б. н., провід. наук. співроб.
СГІ–НЦНС, Одеса
e-mail: belanat@ukr.net

НАПРЯМИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ СЕЛЕКЦІЇ КУКУРУДЗИ (*ZEA MAYS L.*) У СГІ–НЦНС НА ПОСУХОСТІЙКІСТЬ

Висвітлені історичні аспекти розвитку досліджень з проблем адаптивної селекції у відділі селекції та насінництва кукурудзи. Активні роботи в цьому напрямі започатковано у 90-ті роки минулого століття під керівництвом доктора біологічних наук А. О. Белоусова. Період ефективної селекції гібридів кукурудзи на адаптивність в інституті припадає на початок 2000-х років, коли було створено і запроваджено в широку селекційну практику унікальну за посухостійкістю і комбінаційною здатністю лінію Одеська 221 МВ та нові гетерозисні моделі гібридів за її участі, а середній генетичний приріст урожайності зерна гібридів нового покоління досяг європейського рівня і склав 139 кг/га на рік. Висвітлені результати біохімічних досліджень посухостійкості: розроблено і запроваджено у селекційну практику метод оцінки рівня жаро-, посухостійкості ліній кукурудзи за активністю лектинів у проростках та корінцях.

Ключові слова: кукурудза, селекція на адаптивність, жаро-, посухостійкість, біохімічні показники посухостійкості.

Вступ. На рубежі третього тисячоліття виникли глобальні перетворення не тільки у суспільстві та світовій економіці, але й у тенденціях розвитку світового клімату. Виникла реальна загроза глобального потепління. В Україні, особливо в Південному Степу, значно почастишали роки з жорсткими весняно-літніми посухами і аномально високою температурою повітря. Перед вітчизняною аграрною наукою гостро поставила проблема створення термостійких та посухостійких сортів і гібридів сільськогосподарських культур. Надзвичайно актуалізувалась задача селекції на адаптивність та стабільність сільськогосподарських культур в умовах несприятливих кліматичних перетворень.

Оскільки СГІ–НЦНС розташований в зоні частих екстремальних температур повітря та недостатнього зволоження ґрунту в літній період, у

лабораторії генетико-біотехнологічних методів селекції кукурудзи відділу селекції та насінництва кукурудзи ще на початку 90-х років минулого століття було взято курс на створення жаро-, посухостійкого вихідного матеріалу, термостійких самозапилених ліній і гібридів. Завідувачем лабораторії д. б. н. А. О. Белоусовим було розроблено програму довгострокових досліджень теоретичних і прикладних аспектів проблеми адаптивності, зокрема жаро-, і посухостійкості, поліпшення генетико-структурної організації синтетичних популяцій як базового вихідного матеріалу для селекції. Тоді ж започатковано програми створення та застосування інноваційних методів і технологій з метою значного підвищення ефективності сучасного селекційного процесу кукурудзи на адаптивність.

Але основи сучасної селекції на адаптивність започатковувались ще у 70-х роках минулого століття, коли була прийнята концептуальна модель гібрида (О. С. Мусійко, П. Ф. Ключко) схрещуванням кращих ліній світової селекції з адаптованими формами власного виробництва. Свідченням правильності обраного шляху можна вважати створення і районування в 1969 році першого міжлінійного (подвійного) гібрида — Одеський 50 М, у генотипі якого було поєднано високі генетичні якості ліній світової селекції і адаптивні властивості ліній власної селекції. Саме такою адаптогенною лінією виявилась Одеська 301, яка входила до складу батьківської форми гібрида Одеський 50 М. Завдяки такому підходу гібрид набув широкого розповсюдження і займав на той час площу до 100 тисяч гектарів.

У 80–90-ті роки селекційну роботу в інституті у цьому напрямі успішно продовжено. За обраною концепцією було створено і запроваджено у широке виробництво такі відомі свого часу гібриди, як Одеський 80 МВ і Одеський 190 МВ (Ю. К. Кобелев), Кулон МВ, Карат МВ, Корсар МВ (В. С. Мельник), ОДМА 310 МВ і ОДМА 338 МВ (В. М. Соколов). Але цілеспрямовану і науково обґрунтовану на належному методичному рівні програму адаптивної селекції кукурудзи в інституті було розроблено і запроваджено у широку селекційну практику А. О. Белоусовим у середині 90-х років минулого століття.

Мета дослідження полягала в тому, щоб висвітлити процес розвитку адаптивної селекції кукурудзи в СГІ–НЦНС, показати досягнуті результати та їхній значний вплив на підвищення ефективності селекційного процесу кукурудзи в інституті.

Матеріал і методи. У дослідження було залучено широкий вихідний матеріал американської та європейської селекції, зокрема кращі гібриди F_1 , гібридні і синтетичні популяції зі США, Канади, Мексики, Франції, колишньої Югославії, Німеччини, Голландії, Угорщини, Болгарії — усього близько 150 найменувань. Були розпочаті довгострокові програми рекурентного добору зі створення та генетичного поліпшення самозапилених ліній на основі синтетичних та гібридних популяцій різних типів за

генетичним складом і призначенням, адаптованих до жорстких умов Південного Степу України.

Активність метаболітичних чинників стресостійкості, зокрема глютаматдегідрогенази, абсцизової кислоти, нітратредуктази та лектинів оцінювали за методикою, детально описаною в раніше опублікованих матеріалах [1]. Дослідження проведено на створеній модельній вибірці інбредних форм, яка включала 15 ліній з альтернативним станом стресостійкості — 5 високопосухостійких, 5 посухостійких і 5 нестійких до посухи. Динаміку генетичного приросту середньої врожайності гібридів розраховували шляхом регресійного аналізу відповідно до формули лінійної регресії: $Y = y + b_{yx}(X - x)$ [2].

Результати та обговорення. До початку 90-х років сучасна популяційна селекція, яка в усьому світі широко застосовується як генетична база для ефективної гетерозисної селекції, у відділі на той час не була розвинута. Переважав масовий та індивідуальний добір із сортів та гібридних популяцій. Але світова і перш за все американська гетерозисна селекція вже давно успішно розвивалась на основі популяційної генетики і селекції.

Для розгортання селекційних і дослідницьких робіт з посухостійкості необхідно було системно упорядкувати зібраний широкий селекційний матеріал. З цією метою великий за обсягом масив закордонних гібридів та гібридних популяцій було диференційовано за походженням (США, Канада, Мексика, Європа), довжиною вегетаційного періоду (ранні, середньоранні, середньостиглі, середньопізні), а відомі лінії — за їхньою приналежністю до певної гетерозисної групи. Щоб не залучати матеріал до популяцій за традицією — наосліп, ми розробили метод поліпшення генетико-структурної організації створюваних популяцій: підібрані до включення в певний синтетик материнські компоненти спочатку оцінювали за рівнем загальної і специфічної комбінаційної здатності (ЗКЗ і СКЗ) стосовно до 3 тестерів, які належали до 3 основних гетерозисних груп: Айодент, Ланкастер і Міндзенпуста. Потім добирали кращі за ЗКЗ та СКЗ форми, і лише їх включали в певну синтетичну популяцію, а роботу у ній провадили за моделлю рекурентного добору на СКЗ до кращого тестера. У такий спосіб генетична структура зазначених популяцій ще на початку формування була значно поліпшена за складом адитивних, алельних та неалельних ефектів генів. При формуванні синтетиків і доборі компонентів враховували їхню генетичну структуру (з вузькою чи широкою основою), а також заплановану модель періодичного добору — рекурентний добір на СКЗ, рекурентно-реципрокний добір тощо. Були сформовані популяції на основі американської і європейської зародкової плазми (ОПАЛ-20 зубовидна, ОПЄЛ-22 крем'яниста), цільові популяції за всіма групами стиглості, популяції з широкою і вузькою генетичною основою, належні до гетерозисних груп Айодент/Рейд, Ланкастер, Міндзенпуста. Всього з 1993 по 1998 рік сформували 15 синтетичних популяцій різних

типів і різного призначення. Після цього були сформовані довгострокові програми генетичного поліпшення за різними моделями рекурентного та рекурентно-реципрного добору [3–4].

Пріоритетним напрямом селекції із застосуванням створених популяцій був періодичний добір стресостійких до екстремальних температур і умов зволоження форм та виведення на їхній основі жаро- посухостійких ліній і гібридів. Особливо ефективним виявився добір в гібридній популяції з залученням екзотичної раси Rio Grandese (Мексика) та ліній світової селекції. Робота з цією популяцією була розпочата ще у 1989–1990 роках, коли у відділі широко велись роботи з селекції високолізинової кукурудзи опейк-2 [5]. Тому до складу цієї популяції, як і до багатьох інших, було включено донори генів опейк-2 та відновлення фертильності пилку молдавського типу. Коли виявилась унікальна посухостійкість деяких інбредних рекомбінантних форм з цієї популяції, А. О. Белоусовим було розпочато роботу з трансформації цих високолізинових субліній (o_2/o_2) у звичайні немутантні лінії (+/+). Серед них особливо виділялась за параметрами адаптивності і стресостійкості лінія, яка отримала потім назву Одеська 221 МВ. Вона вирізнялась темно-зеленим листям, комплексною стійкістю до стеблового і кореневого вилягання та хвороб. Але ще довго серед її інбредних форм вищеплювались фенотипово «тусклі» опейк-2 насінини, оскільки мутація ця рецесивна. Подальші дослідження виявили дві унікальні властивості цієї лінії.

Таблиця 1

Середня врожайність лінії Одеська 221 МВ у порівнянні з іншими лініями, батьківськими простими та модифікованими гібридами за період 2008–2012 рр.

Батьківська форма	Урожайність кондиційного насіння, ц/га
Лінія Одеська 221 МВ	12,6
Інші батьківські лінії (середнє)	6,9
Батьківські модифіковані гібриди	12,8
Батьківські прості гібриди	14,0

По-перше, вона характеризувалась надзвичайно високим і стабільним рівнем урожайності, жаро- та посухостійкості, її листя не «горіло», пилок не втрачав життєздатності, і вона мало знижувала врожайність насіння навіть в умовах жорсткої посухи (табл. 1).

І, по-друге, лінія Од 221 МВ вирізняється видатною загальною і специфічною комбінаційною здатністю стосовно майже усіх відомих гетерозисних груп — Айодент, Рейд, Ланкастер, Міндзенпуста, Лакон. У результаті подальшої інтенсивної селекційної роботи за участі лінії Од 221 МВ одержали низку високопродуктивних гібридів, які були занесені до Держреєстру сортів України (табл. 2).

У результаті досліджень наприкінці 90-х років минулого і на початку ХХІ століття лінія Од 221 МВ була залучена в широкий селекційний процес за програмою селекції на адаптивність та стресостійкість.

Таблиця 2

Рівень зернової продуктивності гібридів від схрещування лінії Одеська 221 МВ з материнськими формами основних гетерозисних груп кукурудзи

Гетерозисна група материнського компонента гібрида		Батьківський компонент схрещування (лінія)	Одержані гібриди	Реалізована потенційна урожайність зерна, ц/га	Результати державного випробування
Назва	частка, %				
Айодент	100	Одеська 221 МВ	Одеський 385 МВ	146,0	у Реєстрі
Рейд	100	Одеська 221 МВ	Новація МВ	164,1	у Реєстрі
Міндзенпуста	100	Одеська 221 МВ	Веселка МВ	136,2	у Реєстрі
Айодент/Міндзенпуста	по 50	Одеська 221 МВ	Кобза МВ	138,0	у Реєстрі
Айодент/Рейд	по 50	Одеська 221 МВ	Флагман	142,4	у Реєстрі
Айодент/Рейд	по 50	Одеська 221 МВ	Шаланда МВ	128,4	у Реєстрі

Цікавий історичний аспект гетерозисної селекції кукурудзи в інституті на рубежі двох століть. У період 1976 – 1990 років одним із пріоритетних напрямів була селекція багатолінійних (складних) гібридів кукурудзи, яку теоретично обґрунтовував і активно запроваджував у виробництво відомий селекціонер д. с.-г. н. Ю. К. Кобелев. Якщо не вдаватися до аналізу кон'юнктурних причин розвитку цього напрямку в певний історичний період, то можна вважати, що магістральний розвиток селекції кукурудзи в інституті у 80–90-ті роки вже тоді був пов'язаний з використанням простих, потрібних або модифікованих версій гібридів і, в першу чергу, за гетерозисною моделлю Айодент/Рейд х Міндзенпуста.

Як показали подальші дослідження, лінії генетичної плазми Міндзенпуста мають видатну комбінаційну здатність, проте в певних умовах вирощування виявляють низьку жаро- та посухостійкість, а деякі з них були схильні до кореневого вилягання. Введення А. О. Белоусовим у широку селекційну практику унікальної за типом зародкової плазми, посухостійкістю та комбінаційною здатністю лінії Од 221 МВ дозволило запропонувати на початку ХХІ століття більш ефективні гетерозисні моделі гібридів кукурудзи, а саме: Айодент х Од 221 МВ, Рейд х Од 221 МВ, Міндзенпуста х Од 221 МВ. На базі цих моделей в лабораторії було створено і зареєстровано у період 2001–2010 років цілу низку гібридів, які вже започатковували нове покоління гібридних генотипів кукурудзи і унікально поєднували високий генетичний потенціал продуктивності та підвищену адаптованість до стресових факторів зовнішнього середовища (табл. 3).

Аналіз багаторічних даних показує, що гібриди на основі нових гетерозисних моделей мають суттєві переваги в основних ґрунтово-кліматичних зонах не тільки за рівнем зернової продуктивності, але й за параметрами адаптивності, екологічної стабільності і загальної селекційної цінності. Крім того, дослідженнями Таврійського національного універси-

тету ім. В. І. Вернадського (АР Крим) було виявлено ще й інший важливий аспект підвищеної адаптивності нових гібридів, до складу яких входить лінія Од 221 МВ. Так, гібриди Одеський 385 МВ, Веселка МВ, Шаланда МВ вирізняються високою солестійкістю, тоді як ОдМа 310 МВ, Одеський 375 та інші віднесені до групи недостатньо адаптогенних гібридів з підвищеною солечутливістю до хлоридного засолення [6].

Таблиця 3

Параметри зернової продуктивності (ц/га), адаптивності (u) та узагальненої селекційної цінності (ІСЦ*) гібридів нового покоління на основі генетичної плазми Од 221 МВ порівняно з гібридами гетерозисної моделі Айодент х Міндзенпуста, середнє за 2009–2011 рр.

Гібрид	Рік ре- ест- рації	Урожайність зерна, ц/га			Серед- не по зонах	Ранг	Загальна адаптивна здатність (u)	ІСЦ (+)
		Півден- ний Степ	Північ- ний Степ	Лісо- степ				
Гібриди на основі моделі Айодент х Міндзенпуста								
Успіх МВ	2008	40,8	60,9	89,2	63,6	10	– 4,7	0,45
ОдМа 310 МВ	1987	41,4	58,6	91,2	63,7	9	– 4,6	0,49
Од 360 МВ	2002	40,5	59,8	91,7	64,0	8	– 4,3	0,46
Гібриди на основі генетичної плазми Од 221 МВ								
Од 385 МВ	2001	48,1	69,0	95,0	70,7	3	+ 2,4	0,70
Веселка МВ	2003	47,9	65,2	93,1	68,5	6	+ 0,2	0,60
Кобза МВ	2005	48,0	65,8	93,4	69,1	4	+ 0,8	0,67
Шаланда МВ	2006	41,5	62,1	89,2	64,2	7	– 4,1	0,50
Новація МВ	2006	50,4	67,1	107,6	75,0	1	+ 6,7	0,68
Флагман	2008	49,9	66,6	95,8	70,8	2	+ 2,5	0,79
Джайв	2009	46,0	64,1	96,1	68,7	5	+ 0,4	0,64

ІСЦ* — індекс селекційної цінності гібрида, який дає інтегральну оцінку параметрам його продуктивності, адаптивності і вологості зерна.

Широке залучення у селекційний процес нових підходів, напрямів та ефективних методів невдовзі дало очевидні позитивні наслідки. З метою аналізу цих процесів і отриманих результатів досліджували генофонд гібридів конкурсних екологічних сортовипробувань за період 1971–2011 рр. Динаміку генетичного приросту середньої врожайності гібридів (рис.) розраховували шляхом регресійного аналізу відповідно до формули лінійної регресії: $Y = y + b_{yx}(X - x)$, де:

Y — середня врожайність зерна (функція);

X — роки (аргумент).

Для початкового етапу (1970–1980) сучасного періоду міжлінійної гібридизації кукурудзи були характерні екстенсивні темпи розвитку і відсутність реального генетичного прогресу в рості врожайності зерна ($b_{yx} = -16$ кг/га за рік). Селекція в цей період спиралась на обмежений за генетичною різноманітністю генофонд давніх ліній, місцевих сортів, сортолінійних гібридів.

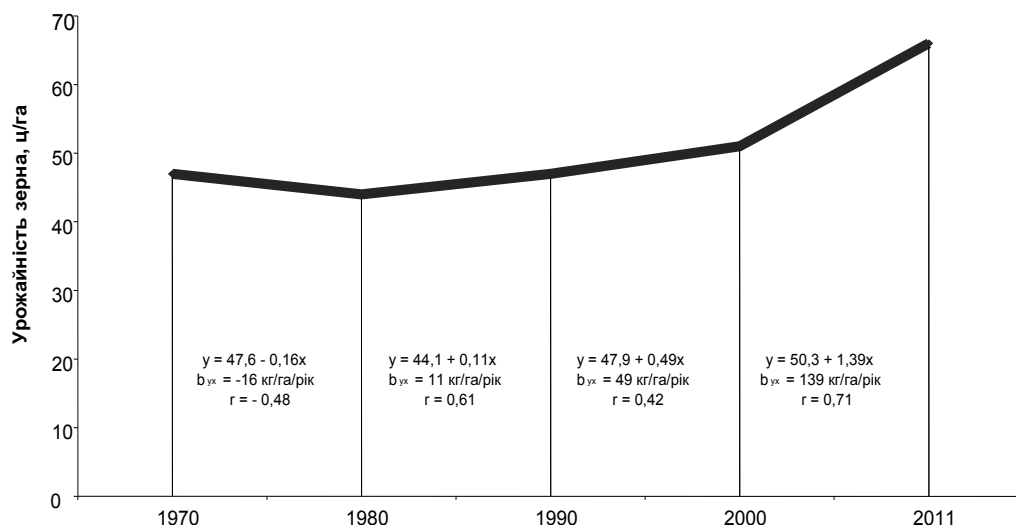


Рис. Динаміка генетичного приросту врожайності зерна гібридів кукурудзи селекції СГІ–НЦНС за період 1970–2011 рр.

Реальний початок результативної селекції припадає на період 1980–1990 рр. Саме в цей час до селекційного процесу залучено лінійний матеріал світової селекції. Але розпорошення сил колективу відділу на різні напрями роботи — селекція простих гібридів, створення складних гібридів, селекція високолізинової кукурудзи, засилля складних гібридів серед експериментальних і зареєстрованих — все це істотно знижувало ефективність роботи в цілому і темпи реального приросту врожайності в цей період ($b_{yx} = 11 \text{ кг/га за рік}$). І тільки в період 1990–2000 років починається реальний прогрес у розвитку селекції і рості врожайності ($b_{yx} = 49 \text{ кг/га за рік}$). В цей час до генофонду відділу залучається і вже широко використовується генетично різноманітний селекційний і лінійний матеріал із США, Європи, Угорщини інших наукових установ України.

Справжній якісний ривок у селекції кукурудзи на адаптивність в інституті зроблено в період 2001–2011 років. На цей час вже «спрацювали» довгострокові програми рекурентно-адаптивної селекції популяцій, започатковані ще у 90-ті роки. Була створена і пішла в широку селекційну роботу унікальна за біологічними властивостями лінія Одеська 221 МВ, були запропоновані і залучені до широкого використання ефективні гетерозисні моделі високоадаптивних гібридів: Айодент х Од 221 МВ, Рейд х Од 221 МВ і Міндзенпуста х Од 221 МВ. У результаті за цей період генетичний приріст урожайності зерна гібридів нового покоління в середньому за рік склав 139 кг/га. Якщо порівнювати цей показник з рівнем інтенсивності селекції в інших країнах, то він відповідає темпам генетичного приросту урожайності кукурудзи в таких країнах, як Аргентина (у 1990–2000 рр. $b_{yx} = 105 \text{ кг/га за рік}$) [7], колишня Югославія (1980–1990 рр. $b_{yx} = 119,9 \text{ кг/га за рік}$) [8]. Узагальнюючи ці дані, можна вважати, що за ефективністю і темпами генетичного приросту селекція

кукурудзи в СГІ–НЦНС на рубежі XXI століття вийшла на рівень створення сучасних, високоврожайних гібридів з потенціалом продуктивності 11–15 т/га зерна, добре адаптованих до стресових умов Степу України (висока посухостійкість та солевитривалість), з високим рівнем екологічної стабільності.

Другий пріоритетний напрям адаптивної селекції кукурудзи в інституті пов'язаний з дослідженням фізіолого-біохімічних механізмів прояву стресостійкості у кукурудзи, зокрема жаро- та посухостійкості. Ці дослідження за спільною програмою протягом багатьох років (2006–2016) проводять колективи лабораторій генетико-біотехнологічних методів селекції кукурудзи та біохімії рослин. Метою цієї програми була розробка комплексних фізіолого-біохімічних критеріїв оцінки і добору за жаро- та посухостійкістю ліній і гібридів. У рамках цієї програми досліджено зв'язок активності певних метаболічних чинників стресостійкості, зокрема глютаматдегідрогенази, абсцизової кислоти, нітратредуктази та лектинів з рівнем жаро-, посухостійкості ліній кукурудзи. Дослідження провадилися на створеній у лабораторії кукурудзи модельній вибірці інбредних форм, яка включала 15 ліній з альтернативним станом стресостійкості: високопосухостійких, посухостійких і нестійких до посухи. Досліджувалась дія певного поєднання стресових факторів на активність лектинів клітинних стінок та нітратредуктази в посухостійких і непосухостійких лініях кукурудзи, оскільки з фахової літератури нам не були відомі аналогічні ідеї комплексного підходу в дослідженні цієї проблеми.

Водний дефіцит (ВД) створювали в камерах з вологістю повітря 35–40 %, температурний стрес (шок — ТШ) — у термостаті при 40° С. Експозиція ВД і ТШ — 6 годин. Більш детально методика, а також повні результати дослідження описані у раніше опублікованих матеріалах [1]. Узагальнені експериментальні дані за цим дослідженням наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Активність лектинів та нітратредуктази в проростках і корінцях високопосухостійких, посухостійких і непосухостійких ліній кукурудзи під дією стресових чинників (середнє за групами ліній, % від контролю)

Показник	Високопосухостійкі			Посухостійкі			Непосухостійкі		
	ВД	ТШ	ВД+ТШ	ВД	ТШ	ВД+ТШ	ВД	ТШ	ВД+ТШ
Проростки									
Лектини	149,2	271,3	157,2	149,2	151,2	120,3	87,5	67,8	79,3
Нітратредуктаза	106,8	109,1	102,5	122,5	131,8	127,3	77,9	93,4	83,3
Корінці									
Лектини	143,9	235,2	218,4	183,7	246,9	161,9	62,8	85,6	56,3
Нітратредуктаза	122,4	110,8	103,2	116,5	101,4	100,9	94,9	91,5	76,3

Індуковані зміни активності лектинів і нітратредуктази під дією стресових чинників свідчать про активну роль цих метаболітів у захисних ан-

тистресових реакціях рослин кукурудзи. На основі чіткого зв'язку між рівнем активності лектинів та ступенем посухостійкості ліній зроблено висновок про можливість застосування показника рівня активності лектинів для добору посухостійких ліній і гібридів кукурудзи. У результаті цих досліджень розроблено і запатентовано метод селекції кукурудзи на посухостійкість [9].

Адаптивна селекція кукурудзи залишається пріоритетним напрямом досліджень у СГІ–НЦНС і на період 2016–2020 років. Але ці перспективні роботи здійснюватимуться вже на молекулярно-генетичному рівні із залученням сучасних інноваційних технологій.

Висновки. Період ефективної селекції гібридів кукурудзи на адаптивність в інституті припадає на початок 2000-х років, коли було створено і запроваджено в широку селекційну практику унікальну лінію Одеська 221 MB та нові гетерозисні моделі гібридів за її участі, а середній генетичний приріст урожайності зерна гібридів нового покоління досяг європейського рівня і склав 139 кг/га за рік. Спільними зусиллями селекціонерів та біохіміків розроблено і запроваджено у селекційну практику метод оцінки рівня жаро- та посухостійкості ліній кукурудзи на основі визначення активності лектинів у проростках і корінцях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Молодченкова О. О. Активность нитратредуктазы и лектинов клеточных стенок у растений кукурузы, выращенных в условиях водного дефицита и теплового шока / О. О. Молодченкова, В. Г. Адамовская, А. А. Белоусов, В. М. Соколов [и др.] // Физиология и биохимия культурных растений. — 2010. — Т. 41. — С. 330–338.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. — Москва, 1985. — 350 с.
3. Белоусов А. О. Генетична структура популяцій кукурудзи з широкою та вузькою генетичною основою / А. О. Белоусов, В. М. Соколов, Р. О. Кривулько // Збірник наукових праць СГІ. — Одеса, 2002. — Вип. 2 (42). — С. 69–79.
4. Белоусов А. О. Розподіл частот генотипів з високою та низькою комбінаційною здатністю за врожаєм зерна в популяціях кукурудзи різних типів / А. О. Белоусов, В. М. Соколов, Р. О. Кривулько // Збірн. наук. пр. Уманського державного аграрного університету. — Умань, 2005. — № 60. — С. 103–114.
5. Белоусов А. А. Генетические аспекты улучшения кукурузы по содержанию белка и его качеству: автореф. дис. ... д. б. н. / А. А. Белоусов. — Одесса, 1989. — 46 с.
6. Омельченко А. В. Локализация натрия в компартментах тканей корней и надземной части гибридов кукурузы в связи с их солеустойчивостью / А. В. Омельченко, С. Н. Кабузенко, А. А. Белоусов, В. А. Сериков // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. — 2009. — Т. 22 (61), № 4. — С. 112–121.
7. Eyherabide G. H. Genetic gain for grain yield of maize in Argentina / G. H. Eyherabide, A. L. Daminolano, J. C. Colazo // Maydica 39. — 1994. — P. 207–211.

8. ЗП гибриды. Каталог. Институт кукурузы Земун Поле. — Белград; Земун, 1996. — 32 с.
9. Адамовська В. Г. Спосіб оцінки посухо-жаростійкості ліній і гібридів кукурудзи: Патент на корисну модель. № 49643 / В. Г. Адамовська, О. О. Молодченкова, А. О. Белоусов, В. М. Соколов, О. В. Рищакова. — 2010. — 4 с.

Надійшла 02.12.2016

UDC 633.15:631.52:581.1

Bielousov A. O., Sokolov V. M., Sierikov V. O., Slobodian R. P., Borshshevskii O. V., Molodchenkova O. O., Adamovska V. G. Plant Breeding and Genetics Institute — National Center of Seed and Cultivar Investigations

TRENDS AND RESULTS OF THE MAIZE (*ZEA MAYS* L.) BREEDING FOR DROUGHT RESISTANCE IN PBGI–NCSCI

There were highlighted the historical research aspects of adaptation maize breeding problem for the maize breeding and seed production department. It was shown, that active works in this direction have been initiated by doctor of science A. A. Belousov in the beginning of 90-th years of the last century. Effective maize hybrid breeding period is dated from the beginning of 2000-th years when the unique for drought resistance and combining ability inbred line Odeska 221 MB was created and incorporated in wide breeding practice, when on its base the new heterotic models were developed and the average genetic increase of the new generation maize hybrids grain yield has achieved to the European level and constituted 139 kg/ha per year. Drought resistance biochemical investigation results were highlighted as well: maize line drought resistance estimation level method was elaborated and put into practice by the lectin activity estimation in the plant shoots and roots.

УДК 633.15:631.52:581.1

Белоусов А. А., Соколов В. М., Серииков В. А., Слободян Р. П., Борщевский А. В., Молодченкова О. О., Адамовская В. Г. Селекционно-генетический институт — Национальный центр семеноведения и сортоизучения

НАПРАВЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ КУКУРУЗЫ (*ZEA MAYS* L.) В СГИ–НЦСС НА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ

Освещены исторические аспекты развития исследований по проблеме адаптивной селекции в отделе селекции и семеноводства кукурузы. Активные работы в этом направлении начаты в 90-е годы прошлого

столетия под руководством д. б. н. А. А. Белоусова. Период эффективной селекции кукурузы на адаптивность в институте приходится на начало 2000-х годов, когда была создана и внедрена в широкую селекционную практику уникальная по засухоустойчивости и комбинационной способности линия Одесская 221 МВ, а также полученные новые гетерозисные модели гибридов на ее основе, а средний генетический прирост урожайности зерна гибридов нового поколения достиг европейского уровня и составил 139 кг/га в год. Освещены также результаты биохимических исследований засухоустойчивости: разработан и внедрен в селекционную практику метод оценки уровня жаро-засухоустойчивости линий кукурузы за активностью лектинов в проростках и корешках растений.

УДК 631.524: 631.9:527

Б. Ф. ВАРЕНИК¹, к. с.-г. н., доц., ст. наук. співроб., зав. від.,
І. Ю. БОРОВСЬКА², к. с.-г. н., ст. наук. співроб., зав. лаб.,
К. М. ДАРМОРИС¹, асп.

¹СГП–НЦНС, Одеса,

²ІР ім. В. Я. Юр'єва НААН, Харків

e-mail: borisvar@ukr.net

СТІЙКІСТЬ ДО ЗАХВОРЮВАНЬ САМОЗАПИЛЕНИХ ЛІНІЙ ТА ГІБРИДІВ СОНЯШНИКУ (*HELIANTHUS ANNUUS* L.) ВІТЧИЗНЯНОЇ СЕЛЕКЦІЇ

Наведені результати фітопатологічної оцінки самозаплених ліній та гібридів соняшнику селекції СГП–НЦНС та ІР ім. В. Я. Юр'єва НААН в умовах природного й провокаційного фонів. Виділені найбільш стійкі гібриди, які можуть бути успішно впроваджені у виробництво. Високостабільні стійкі самозаплені лінії необхідно використовувати як батьківські компоненти в селекції соняшнику на гетерозис.

Ключові слова: соняшник, стійкість до хвороб, природний та провокаційний фони, ураженість хворобами, розповсюдженість хвороб.

Вступ. Недобір урожаю насіння соняшнику нерідко зумовлюється дією збудників хвороб, шкідливість яких відчутно підвищилась останніми роками, через перенасичення соняшником сівозмін, недотримання технології вирощування культури, змін у кліматі. Через скорочення терміну ротації культури в сівозміні втрати врожаю від хвороб зросли від 10–15 до 30–50 %, а в окремі сприятливі для розвитку хвороб роки втрати тільки від білої та сірої гнилей сягають 70 % і більше [1; 2].

Використовуючи різноманіття генетичних ресурсів, селекціонер створює вихідний матеріал, що характеризується максимальною вираженістю такої цінної ознаки, як стійкість до хвороб. Колекція донорів стійкості є цінним надбанням установи-оригінатора і водночас основою його селекційної і фінансової стабільності на тривалу перспективу.

Створення самозаплених ліній та гібридів соняшнику, стійких до поширених хвороб, передбачає дотримання типових схем селекції. У відповідності з цим на кожному етапі добору проводять оцінювання лінійного і гібридного матеріалу на інфекційних штучних і природних фонах та добирають для подальшої роботи стійкі до збудників хвороб форми [3–6].

У співпраці учених вітчизняних наукових установ створено систему інфекційних фонів (лабораторні, вегетаційні, польові) та затверджено її як невід'ємну складову селекційного процесу. Цьому сприяли цілеспря-

мовані дослідження з удосконалення методів створення в польових і лабораторних умовах та методів оцінювання і добору стійких форм, забезпечення оптимального рівня інфекційного навантаження на селекційний матеріал [7].

Щорічно вченими державних наукових установ проводиться імунологічна оцінка стійкості до хвороб у природних умовах самозапиленних ліній та гібридів сояшнику за інтенсивністю розвитку та поширеністю хвороб.

Умови, матеріали та методи. Для досліджень з визначення інтенсивності розвитку та поширеності хвороб сояшнику і виявлення джерел стійкості культури до хвороб на природному та провокаційному фонах випробовували різноманітний за генетичною структурою матеріал: селекційні лінії та гібриди, створені у відділі селекції та насінництва гібридного сояшнику СГІ–НЦНС та у лабораторії селекції та генетики сояшнику Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, які мають різноманітне походження і характеризуються рядом цінних ознак.

Восени, після збирання урожаю, обробляли ділянки дисковими лущильниками, а потім виорювали на зяб. Весняний обробіток ґрунту полягав у ранньому боронуванні і двох культиваціях: перша — водночас з підготовкою ґрунту під ранні ярові культури на глибину 10–12 см, друга — перед сівбою на глибину 7–8 см.

Догляд за посівами включав дворазове розпушування ґрунту у двох напрямках та дворазову ручну прополку в лунках. У фазі сім'ядольних листків проводили проривку. У кожній лунці залишали по 2 рослини.

Впродовж вегетації рослин сояшнику проводили фенологічні спостереження, за якими визначали тривалість фаз розвитку рослин, зокрема: «поява сходів», «1–2 пара справжніх листків», «утворення качанів та кошиків», «початок цвітіння», «повне цвітіння», «фізіологічна стиглість».

Стійкість зразків до збудників хвороб у польових дослідах визначали в умовах природного зараження та на провокаційному фоні, створюваному монокультурою. Для цього дію збудника фомопсису підвищували розміщенням уражених стебел між дослідними ділянками у фазі бутонізації.

Фітопатологічну оцінку проводили за ступенем ураженості — розповсюдженістю, що визначається частотою стрічання хвороби (табл. 1), а також інтенсивністю ураження — за площею ураженої тканини кожної окремої рослини [2]. В умовах значного розповсюдження хвороб, але за низької інтенсивності їх розвитку, застосовували методику, що дозволяє диференціювати зразки за рівнем ураження з урахуванням довірчого інтервалу НІР.

При цих градаціях за відсотком ураженої поверхні рослини визначені такі межі: найменш уражені (показник ознаки достовірно нижчий від середнього по досліді мінус НІР); середньоуражені — середнє по досліді $\pm$ НІР; найбільш уражені — показник достовірно вищий за середнє по досліді + НІР [3; 8].

Таблиця 1

Шкала обліку хвороб соняшнику за ступенем ураженості збудниками хвороб у польових умовах

Бал	Група стійкості	Ураженість рослин на ділянці, %
9	високостійкі	уражено < 10
7	стійкі	уражено 10,1–35,0
5	середньостійкі	уражено 35,1–60,0
3	сприйнятливі	уражено 60,1–85,0
1	високосприйнятливі	уражено >85

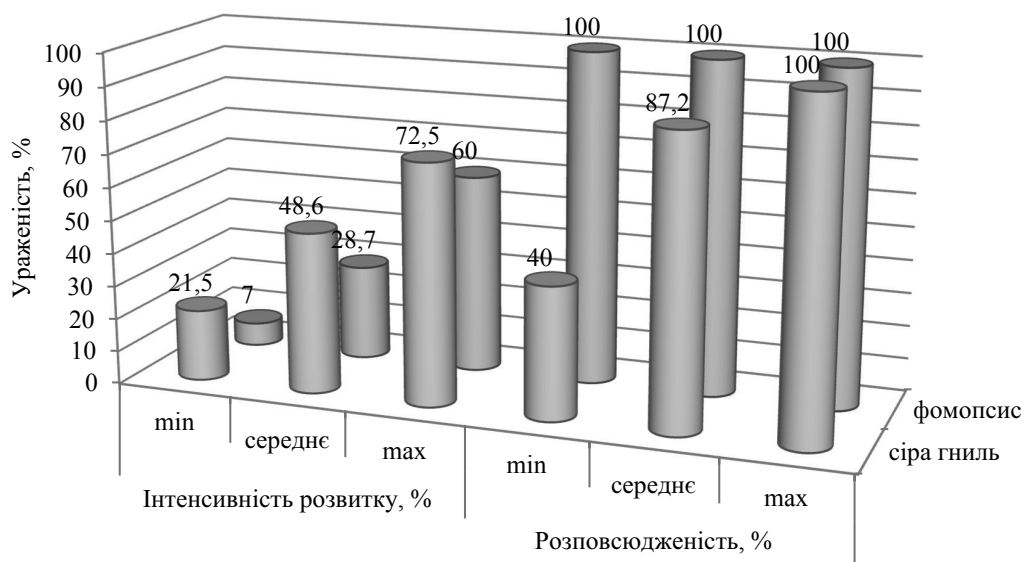


Рис. 1. Коливання показників ураженості гібридів соняшнику збудниками фомопсису і сірої гнилі (ІР ім. В. Я. Юр'єва, природний фон), 2016 р.

Результати досліджень. У 2016 р. метеоумови періоду досягання соняшнику сприяли високому рівню розповсюдження збудника фомопсису, який на всіх без винятку зразках досягав 100 %-го ураження рослин.

Інтенсивність розвитку збудника фомопсису в залежності від гібрида коливалася від 7,0 до 60,0 % ураженої площі рослин, що в середньому становило 28,7 % (на рівні минулорічної величини 28,5 %) (рис. 1).

Це середньозважене значення є показником розвитку збудника фомопсису на природному інфекційному фоні в умовах 2016 р. і класифікується як одне з найвищих (як у 2015 р.) серед показників рівня інфекційного фону хвороби у 2006–2016 рр. Інтенсивність розвитку збудника сірої гнилі коливалася від 21,5 до 72,5 % ураженої площі рослин, що в середньому становило 48,6 %.

Розповсюдженість фомопсису в гібридів по кожному зразку становила 100,0 % уражених рослин, збудника сірої гнилі — від 40,0 до 100,0 % уражених рослин (середнє — 87,2 %).

Спираючись на середньозважені значення ураження хворобами в умовах природного зараження, гібриди розділили на групи згідно з межами довірчого інтервалу середньоквадратичного відхилення (σ) (табл. 2).

Таблиця 2

Розподіл гібридів за рівнем ураження збудником фомопсису згідно з ДІ (σ), природний фон, 2016 р.

Хвороба	Межі груп (уражена площа стебла), %		
	слабкоуражені	середньоуражені	сильноуражені
Фомопсис	7,0–17,81	17,82–39,61	39,61–60,0
Сіра гниль	21,5–38,59	38,60–58,65	58,66–72,5

За цим розподілом виділені зразки з достовірно найменшим рівнем ураження, тобто стійкі, а також проведено диференціацію сукупності гібридів залежно від рівня розвитку хвороби (табл. 3).

Таблиця 3

Розподіл гібридів на групи за рівнем ураження збудником фомопсису, 2016 р.

Хвороба	Кількість та частка гібридів у групах, шт. / %		
	слабкоуражені	середньоуражені	сильноуражені
Фомопсис	15 / 14,7	69 / 67,6	18 / 17,6
Сіра гниль	18 / 17,6	68 / 66,7	16 / 15,7

Кількість гібридів у групі з найменшим рівнем ураження фомопсисом — слабоуражених (стійких) становила 15 шт., або 14,7 %. Частка середньоуражених — 69 зразків, або 67,6 %. Кількість гібридів з найбільшим рівнем ураження (сприйнятливих) становила 18 шт., або 17,6 %.

Таблиця 4

Характеристика гібридів соняшнику за рівнем ураження збудником фомопсису (ІР НААН, природний фон), 2016 р.

№ діл.	Гібрид	Установа-оригіна́тор	Інтенсивність розви-тку хвороби, %		Розповсюдженість, сірої гнилі, %
			фомопсис	сіра гниль	
1	ХС 16–01	ІР	16,0	60,0	83,3
2	Шумер	ІР	28,0	37,5	80,0
3	Ратник	ІР	23,0	35,7	70,0
6	Атлет	ІР	16,3	50,0	45,5
7	Форсаж	ІР	55,0	31,9	40,0
8	Славсон	ІР-СГІ	45,0	58,3	60,0
9	Гусляр	ІР-СГІ	42,5	31,0	50,0
10	Воїн	ІР-СГІ	25,8	38,3	100,0
11	Драйв	ІР-СГІ	35,0	28,8	100,0
12	Чародій	ІР	25,5	46,4	70,0
13	Омегасон	ІР	25,5	21,5	50,0
14	Віраж	СГІ	30,0	50,5	100

Закінчення табл. 4

№ діл.	Гібрид	Установа-оригіна́тор	Інтенсивність розвитку хвороби, %		Розповсюдженість, сірої гнилі, %
			фомопсис	сіра гниль	
15	Ізмаїл	СГІ	23,0	65,0	100
16	Авангард	СГІ	23,3	38,4	80
17	Базальт	СГІ	30,0	43,3	100
18	Бастіон	СГІ	18,5	33,2	70
19	Буг	СГІ	18,5	35,0	80
20	НК Неома	Сингента	41,5	50,3	100
–	Середнє	–	28,71	48,62	87,16
–	σ	–	10,9	10,03	16,81
–	Мінімум	–	7,00	21,50	40,00
–	Максимум	–	60,00	72,50	100,00
–	НІР	–	2,14	1,97	3,3

Кількість гібридів у групі з найменшим ураженням сірою гниллю (слабкоуражених) становила 18 шт., або 17,6 %, середньоуражених — 66,7 % (68 зразків). Кількість гібридів з найбільшим рівнем ураження — 16 шт., або 15,7 %.

Серед гібридів ІР ім. В. Я. Юр'єва НААН в умовах 2016 р. виділено ряд гібридів зі слабким рівнем ураженості збудником фомопсису, в тому числі: селекції ІР НААН — ХС 16–01, Атлет; селекції СГІ–НЦНС — Бастіон та Буг. Також виділені гібриди зі слабким рівнем ураженості збудником сірої гнилі: селекції ІР НААН — Форсаж, Ратник, Шумер; селекції СГІ–НЦНС — Авангард, Бастіон, Буг; спільної селекції — Гусляр, Воїн та Драйв (табл. 4). В таблиці 4 представлені найбільш урожайні гібриди, в т. ч. спільної селекції (Гусляр, Воїн, Драйв, Чародій та Славсон).

Таблиця 5

Характеристика гібридів соняшнику за рівнем ураження збудником фомопсису (ІР НААН, природний фон), 2015–2016 рр.

Гібрид	Інтенсивність розвитку фомопсису, %		
	2015	2016	середнє, 2015–2016
Ажур	37,00	47,5	42,25
Академічний	29,67	25,5	27,58
Арциз	33,42	23,0	28,21
Атлет	31,83	16,25	24,04
Базальт	35,17	30,0	32,58
Бастіон	15,00	18,5	16,75
Борей	34,58	25,5	30,04
Боян	34,50	18,5	26,50
Декан		42,5	30,96
Добродій	28,08	50,3	39,17
Колорит	20,75	25,3	23,00

Закінчення табл. 5

Гібрид	Інтенсивність розвитку фомопсису, %		
	2015	2016	середнє, 2015–2016
Кутузівський	36,92	14,0	25,46
Набір	26,58	14,0	20,29
Омегасон	25,83	35,0	30,42
Оплот	25,42	21,3	23,33
Ореол	32,17	30,5	31,33
Романс	18,58	37,5	28,04
Сайт	10,17	18,8	14,46
Сириус	27,08	45,0	36,04
Славсон	30,50	45,0	37,75
Сонагро	32,92	52,5	42,71
Стаєр	22,33	30,5	26,42
Тайм	37,58	42,5	40,04
Тренер	28,83	16,3	22,54
Середнє	29,27	32,89	31,08
σ	5,97	11,01	6,59
Мінімум	10,17	14,00	14,46
Максимум	41,67	60,00	46,42
НІР	1,61	2,98	1,78

Серед гібридів, які вивчали за сприятливих для розвитку збудника фомопсису умов впродовж 2015–2016 рр., виділено зі слабким рівнем ураженості збудником фомопсису: Атлет, Бастіон, Буг, Колорит, Сайт, Стаєр (табл. 5).

Таблиця 6

Розподіл гібридів за рівнем ураження збудником фомопсису згідно з ДІ (σ), природний фон, 2014–2016 рр.

Рік	Межі груп (уражена площа стебла), %		
	слабкоуражені	середньоуражені	сильноуражені
2014	0,25–17,20	17,21–50,12	50,13–65,0
2015	18,58–25,47	25,48–35,23	35,24–40,92
2016	14,0–23,37	23,38–44,06	44,07–55,0
Середнє, 2014–2016	19,03–25,59	25,60–39,56	39,57–45,11

Таблиця 7

Характеристика гібридів соняшнику ДП за рівнем ураження збудником фомопсису (ІР НААН, природний фон), 2014–2016 рр.

Гібрид	Інтенсивність розвитку фомопсису, %			
	2014	2015	2016	середнє, 2014–2016
Ажур	28,5	37,0	47,5	37,7
Академічний	17,5	29,7	25,5	24,2
Гайчур	6,3	26,3	40,0	24,2
Гектор	30,8	31,8	28,3	30,3
Гусяр	55,0	37,7	42,5	45,1

Закінчення табл. 7

Гібрид	Інтенсивність розвитку фомопсису, %			
	2014	2015	2016	середнє, 2014–2016
Дарій	50,0	32,0	23,5	35,2
Декан	10,3	19,4	42,5	24,1
Добродій	30,0	28,1	50,3	36,1
Експерт	57,5	32,8	42,5	44,3
Елітсон	50,0	28,2	37,5	38,6
Златсон	35,0	32,8	30,3	32,7
Зорепад	45,3	30,5	28,3	34,7
Ізюмський	25,0	32,2	26,0	27,7
Інтеграл	30,8	25,8	40,0	32,2
Клад	47,5	25,8	37,5	36,9
Кутузівський	40,0	36,9	14,0	30,3
Лицар	15,5	31,4	28,3	25,1
Максимум	33,0	23,8	35,0	30,6
Омегасон	30,3	25,8	35,0	30,4
Оплот	37,5	25,4	21,3	28,1
Ореол	65,0	32,2	30,5	42,6
Славсон	35,0	30,5	45,0	36,8
Сонагро	37,8	32,9	52,5	41,1
Тайм	0,3	37,6	42,5	26,8
Форсаж	42,5	37,8	55,0	45,1
ХС-14-01	30,3	29,7	16,0	25,3
ХС-14-02	47,5	32,2	27,8	35,8
Чародій	35,0	30,4	25,5	30,3
Ясон	0,5	25,8	32,5	19,6
Середнє	33,66	30,35	33,71	32,57
σ	16,46	4,88	10,34	6,98
Мінімум	0,25	18,58	14,00	19,03
Максимум	65,00	40,92	55,00	45,11
НІР	5,20	1,54	3,27	2,20

Серед гібридів соняшнику, які вивчали в сприятливих для розвитку збудника фомопсису в умовах упродовж 2014–2016 рр., виділено гібриди зі слабким рівнем ураженості збудником: Академічний, Гайчур, Декан, Лицар, ХС-14-01, Ясон (табл. 6, 7).

В умовах 2016 року розповсюдженість збудників хвороб по селекційних зразках (гібридах і лініях) становила:

– несправжньої борошнистої роси — від 0,0 до 83,3 %, в середньому 29,1 % уражених рослин (рис. 2) проти — від 0,0 до 50,0 %, в середньому 3,12 % уражених рослин у 2015 р.;

– фомопсису — 100,0 % без коливань;

– сірої гнилі — від 0,0 до 100,0 %, в середньому 64,7 % (проти минулорічного значення 49,72 % уражених рослин).

У 2016 р. на соняшнику виявлено високий рівень розвитку фомопсису та сірої гнилі кошиків.

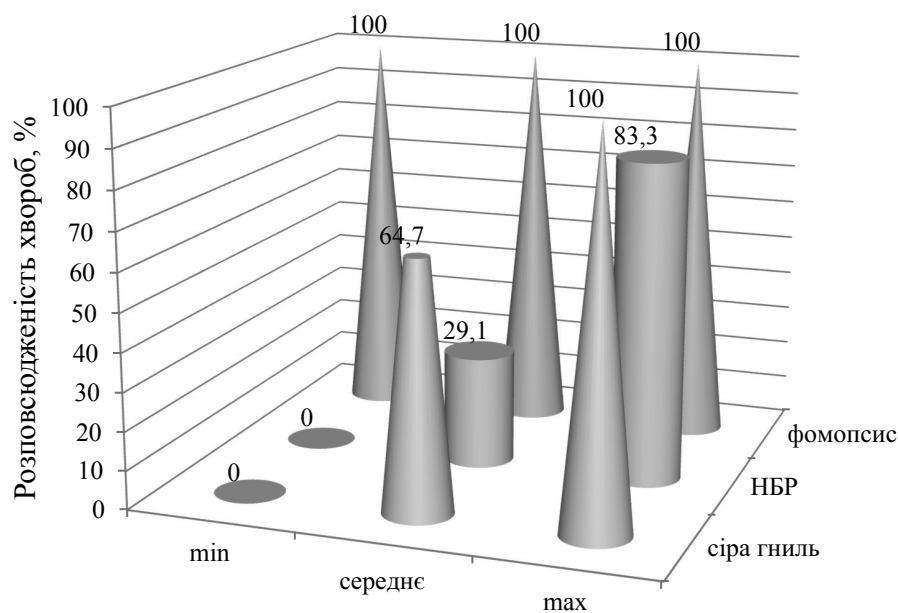


Рис. 2. Показники розповсюдженості хвороб на селекційних зразках соняшнику (провокаційний фон), 2016 р.

Показники інтенсивності розвитку цих хвороб становили в середньому за сукупністю зразків:

- фомопсису — 32,0 % ураженої площі стебла і коливалися від 2,5 до 96,8 % (рис. 2, 3) проти минулорічних значень 19,49 % ураженої площі стебла в середньому, з коливанням від 2,5 до 66,07 %;
- сірої гнилі — 27,48 % ураженої площі стебла і коливалися від 0 до 90,0 %.

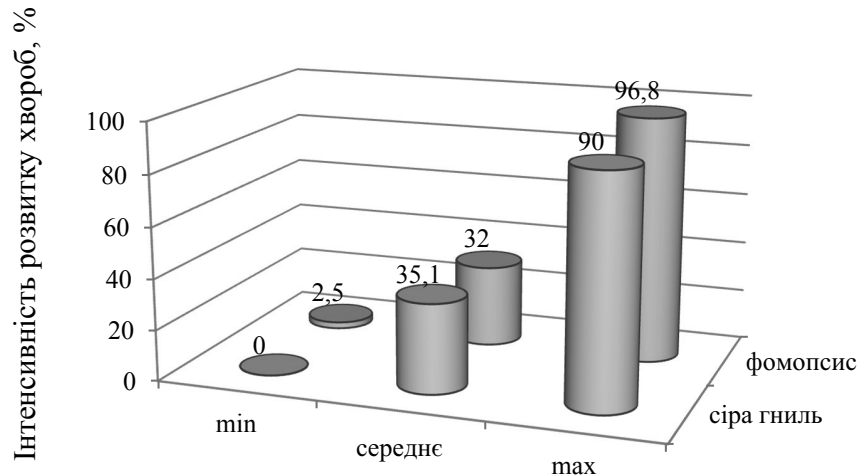


Рис. 3. Показники інтенсивності розвитку збудників хвороб у селекційних зразків соняшнику (ІР НААН, провокаційний фон), 2016 р.

У 2016 р. порівняно з 2015 р. кількість зразків з дуже високою стійкістю (бал 9) зменшилась майже втричі, з 86,0 до 23,4 % (рис. 4).

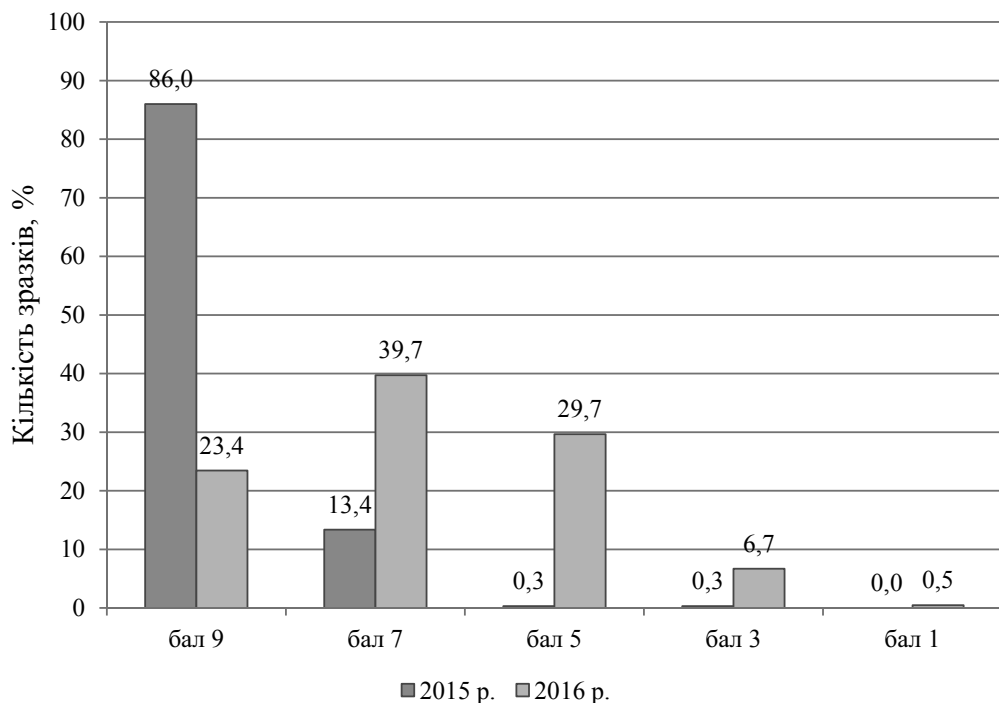


Рис. 4. Розподіл зразків соняшнику за групами стійкості до збудника несправжньої борошнистої роси (IP HAAN, провокаційний фон, 2015–2016 рр.)

Повною протилежністю прояву характеризується кількість зразків з високою стійкістю (бал 7, від 10 до 35 % уражених рослин). Кількість зразків цієї групи стійкості у 2016 р. зросла втричі порівняно 2015 р., з 13,4 до 39,7 %. У 2016 р. значно зросла і частка зразків у групі слабкосприйнятливих (бал 5, 36–60 % уражених рослин) від 0,3 до 29,7 %. Також підвищилась наповненість групи середньосприйнятливих (бал 3) з 0,3 у 2015 р. до 6,7 % у 2016. Лише один зразок (0,5 %) з'явився у групі сильносприйнятливих у 2016 р.

Через прояв НБР два роки поспіль нам випала незвичайна можливість співставити результати оцінки селекційного матеріалу 2015 і 2016 років. Серед 90 зразків соняшнику, які вивчено у 2015–2016 рр., лише вісім з них зовсім не мали ознак ураження збудником НБР (табл. 8). Це гібрид Віват і самозапилена стерильна лінія Од 1035 А селекції СГІ–НЦНС. Також до зазначених зразків належить самозапилена лінія селекції IP HAAN X 06–135 В. Виявлені також зразки з дуже високою стійкістю до НБР, які в умовах 2015 р. не мали симптомів ураження НБР, а при підвищенні інфекційного фону збудника — до 10,0 % уражених рослин. Це лінії харківської селекції X 06–134 В, X 07–30 В та гібрид одеської селекції Базальт.

Щодо ураження зразків соняшнику збудниками фомопсису і сірої гнилі, то розподіл на групи проведено згідно з DI_0 за середньозваженою інтенсивністю розвитку хвороб (табл. 9).

Таблиця 8

Характеристика зразків соняшнику за рівнем ураження збудником НБР
(ІР НААН, провокаційний фон), 2015–2016 рр.

Гібрид, лінія	Ураження НБР, %	
	2015	2016
Базальт	0,0	6,1
Бузулук	0,0	30,0
Віват	0,0	0,0
Явір	0,0	0,0
Шторм	0,0	0,0
Од 1008 А	4,8	29,6
Од 1035 А	0,0	0,0
Од 1042 А	0,0	14,3
Од 1048 А	0,0	6,7
Од 1080 А	0,0	16,7
Од 1222 А	11,1	45,0
Х 06–134 В	0,0	10,0
Х 06–135 В	0,0	0,0
Х 07–30 В	0,0	10,0
Х 08–12 В	0,0	45,2
Х 08–16 В	0,0	50,0
Х 08–18 В	0,0	13,0
Х 729 В	0,0	45,5
ХЗУ 21–13 В	0,0	56,3
Шанс	4,8	89,5
Середнє	2,91	32,99
σ	7,31	22,69

Так, до зразків соняшнику зі слабким ураженням збудником фомопсису віднесено 15,46 % (30 шт.), сірої гнилі — 13,92 % (27 шт.). До групи середньоуразжених увійшла переважна більшість зразків, уражених збудниками: фомопсису — 71,13 % (138 шт.); сірої гнилі — 67,53 % (131 шт.). Частка сильноуразжених зразків збудником сірої гнилі становила 18,56 % (36 шт.). Сильноуразженими фомопсисом виявились 13,40 % (26 шт.).

Починаючи з 2015 року в СГІ–НЦНС започатковано роботу зі створення генотипів соняшнику, стійких до найбільш агресивних рас несправжньої борошнистої роси.

Як джерело стійкості обрана лінія RHA 419, яка є однією з носіїв гена стійкості PL_{ARG} . У 2016 р. відділом загальної та молекулярної генетики проведено ПЛР-аналіз за маркерними мікросателітними локусами лінії RHA 419 та ліній селекції СГІ–НЦНС ОС 1019В і ОС 1029В (реципієнтні генотипи в програмах гібридизації з донором гена PL_{ARG}). Певні рослини зазначених ліній, які залучені до гібридизації, чітко відрізняються за алелями маркерних локусів. Після ізоляції та штучного запилення отримано насіння F_1 : RHA 419 x ОС 1019, RHA 419 x ОС 1029, ОС 1019 x RHA 419, ОС 1029 x RHA 419. Маркерним аналізом підтверджено гетерозиготний

стан певної частки отриманого насіння. За даними маркерного аналізу визначені зразки для вирощування з метою отримання насіння F_2 .

Таблиця 9

Розподіл зразків соняшнику на групи за рівнем ураженості збудником фомопсису та сірою гниллю (σ), 2016 р.

Група стійкості	Фомопсис		Сіра гниль	
	межі груп (уражена площа стебла), %	кількість зразків по групах, шт. / %	межі груп (уражена площа стебла), %	кількість зразків по групах, шт. / %
Слабкоуражені	2,5–13,32	30 / 15,46	0,0–16,64	27 / 13,92
Середньоуражені	13,33–51,28	138 / 71,13	16,65–60,55	131 / 67,53
Сильноуражені	51,29–96,75	26 / 13,40	60,56–90,0	36 / 18,56

Досліджено лінії-диференціатори LC-1003 (стійка до вовчка раси E), EH-935 та LC-1093 (стійкі до вовчка раси F) за локусами, зчепленими з кластером генів Or_1 - Or_5 . Визначена можливість відрізняти названі лінії від ліній селекції СГІ–НЦНС за алелями маркерного локусу ORS1036.

Висновки. У результаті досліджень визначено фітопатогенний комплекс збудників хвороб та рівень їхнього розвитку і поширення. У першій половині вегетації рослин соняшнику виявлено системну форму ураження з масовим поширенням збудника несправжньої борошнистої роси. Серед гібридів селекції СГІ–НЦНС в умовах природного фону виділені найбільш стійкі до фомопсису — Авангард, Бастіон, Буг, а також гібриди спільної селекції СГІ–ІР НААН, що стійкі до сірої гнилі — Гусяр, Воїн, Драйв. На провокаційному фоні виділено 14 зразків соняшнику з груповою стійкістю до хвороб, в тому числі до несправжньої борошнистої роси і слабкий рівень ураження сірою гниллю, серед яких батьківські компоненти гібрида селекції СГІ–НЦНС Віват: Од 1008А та ОС 1011В.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Петренкова В. П. Теоретичні основи селекції соняшнику на стійкість до некротрофних патогенів: автореф. дис. ... д. с.-г. н.: спец. 06.01.05 «Селекція рослин» / В. П. Петренкова. — Одеса, 2005. — 35 с.
2. Основи селекції польових культур на стійкість до шкідливих організмів: навч. посіб. / [В. П. Петренкова, В. В. Кириченко, І. Ю. Боровська та ін.]; за ред. акад. НААН В. В. Кириченка, чл.-кор. НААН В. П. Петренкової. — Харків: ІР ім. В. Я. Юр'єва НААН, 2012. — 320 с.
3. Боровська І. Ю. Можливість диференціації гібридів соняшнику за низьких рівнів ураженості збудником фомопсису / І. Ю. Боровська, В. В. Кириченко, В. П. Петренкова, В. В. Баранова // Селекція та насінництво: міжвід. тем. наук. зб. — Харків, 2007. — Вип. 97. — С. 25–31.
4. Кириченко В. В. Селекция и семеноводство подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) / В. В. Кириченко. — Харьков, 2005. — 385 с.
5. Генетика и селекция подсолнечника: монография / Д. Шкорич, Дж. Сейлер, Жао Люю [и др.]; Сербская академия наук и искусств, Ассоциация «Селекция и семеноводство подсолнечника». — Х.: НТМТ, 2015. — 540 с.

6. Кириченко В. В. Пріоритетні напрями виробництва соняшнику / В. В. Кириченко, С. І. Святченко, М. Г. Цехмейструк // Посібник українського хлібороба: наук.-практ. зб. — 2014. — Т. 2. — С. 84–88.
7. Петренкова В. П. Стійкість до хвороб гібридів та самозапилених ліній соняшнику Селекційно-генетичного інституту / В. П. Петренкова, Б. Ф. Вареник, І. Ю. Боровська // Зб. наук. пр. СГІ–НЦНС. — Одеса: СГІ–НЦНС, 2012. — С. 94–101.
8. Петренкова В. П. Стійкість соняшнику до некротрофних патогенів / В. П. Петренкова, І. Ю. Боровська, В. В. Кириченко / Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. — Х., 2012. — 296 с.

Надійшла 21.12.2016

UDC 631.524: 631.9:527

Varenyk B. F.¹, Borovska I. Yu.², Darmorys K. M.¹ ¹Plant Breeding and Genetics Institute — National Center of Seed and Cultivar Investigations, ² Plant Production Institute nd. a. V. Ya. Yuryev of NAAS

RESISTANCE TO DISEASES OF SUNFLOWER INBRED LINES AND HYBRIDS (*HELIANTHUS ANNUUS* L.) OF UKRAINIAN BREEDING

There were presented of phytopathological evaluation and selection of the inbred lines of sunflower hybrids PBGI–NCSCI and PPI NAAS in natural and provocative backgrounds. It was obtained most the stable hybrids, which can be successfully introduced into production. Highly stable resistant line should be used as parental components in sunflower breeding for heterosis.

УДК 631.524: 631.9:527

Вареник Б. Ф.¹, Боровская И. Ю.², Дарморис Е. М.¹ ¹Селекционно-генетический институт — Национальный центр семеноведения и сортоизучения, ²Институт растениеводства им. В. Я. Юрьева НААН

УСТОЙЧИВОСТЬ К ЗАБОЛЕВАНИЯМ САМООПЫЛЕННЫХ ЛИНИЙ И ГИБРИДОВ ПОДСОЛНЕЧНИКА (*HELIANTHUS ANNUUS* L.) ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ

Приведены результаты фитопатологической оценки самоопыленных линий и гибридов подсолнечника селекции СГИ–НЦСС и ИР им. В. Я. Юрьева НААН в условиях естественного и провокационного фонов. Выделены наиболее устойчивые гибриды, которые могут быть успешно внедрены в производство. Высокостабильные устойчивые линии необходимо использовать в качестве родительских компонентов при селекции подсолнечника на гетерозис.

УДК 633.16:664.786

О. І. РИБАЛКА, д. б. н., с. н. с., зав. від.,
С. С. ПОЛІЩУК, мол. наук. співроб.,
З. В. ЩЕРБИНА, к. с.-г. н., с. н. с., пров. наук. співроб.
СГІ–НЦНС, Одеса
e-mail: rybalkaalexander@gmail.com

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ЗЕРНА ЯЧМЕНЮ (*HORDEUM VULGARE* L.)

Викладені результати дослідження комплексу показників харчової цінності зерна комерційних сортів, колекційних зразків та селекційних ліній ярого і озимого, голозерного і плівчастого ячменю. Зразки голозерного ячменю мають достовірну перевагу над зразками плівчастого ячменю за вмістом у зерні сирого протеїну, некрохмалистих полісахаридів β -глюканів, олії та загальної антиоксидантної активності зерна. Виявлено високу позитивну кореляційну залежність між вмістом у зерні ячменю олії та загальною антиоксидантною активністю, як і вмістом у зерні олії та білка. Така залежність цілком логічна, адже в олії ячменю містяться жиророзчинні токоли (токофероли і токотриеноли), які характеризуються високою антиоксидантною активністю, а олія і білок зосереджені переважно у зародку та периферійних частинах зернівки ячменю.

Ключові слова: ячмінь голозерний, ячмінь плівчастий, полісахариди, олія, білок, антиоксидантна активність.

Вступ. В останні 15–20 років ячмінь набуває широкої популярності у цивілізованому світі як цінна харчова культура з чітко визначеними характеристиками продукту функціонального харчування. Це означає, що харчові продукти з зерна ячменю є для організму людини важливим джерелом засвоюваної метаболічної енергії і зміцнення фізичного здоров'я. Результатами численних наукових досліджень останніх двох десятиліть (біохімічних і клінічних), виконаних у авторитетних лабораторіях світу, доведено, що харчові продукти із зерна ячменю забезпечують профілактику організму людини проти основних смертоносних хвороб сучасного цивілізованого людства — цукрового діабету [1; 2], серцево-судинних патологій [3; 4] та раку [5].

За висновками впливової міжнародної організації FDA (Food and Drug Administration), яка здійснює контроль якості харчових продуктів у світі, лише дві зернові культури — ячмінь і овес — при систематичному вживанні їх у вигляді харчових продуктів суттєво знижують ризик коронарної хвороби серця [6].

Сучасні наукові дисципліни сфери здорового харчування — дієтологія і нутриціологія — базуються на трьох основних концепціях, які визначають стратегічну роль у харчуванні таких нутрієнтів як: а) дієтична клітковина, б) антиоксиданти та с) мінерали [7–9]. Саме ці компоненти здорової (функціональної) їжі забезпечують фізіологічне здоров'я кишківника, а відтак і фізичне здоров'я людини, стійкість організму проти руйнівних вільних радикалів, що спричиняють численні патології клітин, тканин і органів людини, передчасне старіння її та смерть [10; 11].

У зв'язку з викладеним особливо важливо наголосити, що зерно ячменю відповідає всім трьом стратегічним концепціям сучасної нутриціології. Воно містить у великій кількості унікальну розчинну рослинну дієтичну клітковину β -глюкани, за рахунок комплексу фітохімічних речовин, таких як токоли, пігменти, похідні ферулової кислоти, характеризується високою антиоксидантною активністю та водночас є цінним джерелом таких ключових мінералів, як залізо, цинк, марганець, селен, хром [5].

Серед основних відомих морфотипів ячменю півчастого і голозерного у харчовій промисловості науково просунутих країн світу особливо зростаючою популярністю характеризується голозерний ячмінь, який має у порівнянні з півчастим щонайменше дві основні переваги: а) зерно без плівки легше технологічно переробляється у борошно, крупи і пластівці, б) при технологічній переробці зерна без плівки не втрачаються цінні у харчовому відношенні такі морфологічні компоненти, як зародок, зернова оболонка і алеїроновий шар, а вихід продуктів при переробці голозерного ячменю суттєво вищий, ніж при переробці півчастого [12–14].

У Селекційно-генетичному інституті (СГІ–НЦНС) розгорнута одна з наймасштабніших в Україні програм зі створення вихідного матеріалу для селекції сортів голозерного ячменю харчового використання. У зв'язку з цим для нас важливо мати характеристику за ознаками харчової цінності як колекційного вихідного матеріалу ячменю, що залучається у схрещування, так і перспективних селекційних ліній як імовірного вихідного матеріалу для створення сортів голозерного ячменю харчового напрямку. У нашій статті наведені результати дослідження різноманітного генетичного і селекційного матеріалу ячменю за ключовими показниками харчової цінності зерна — вмісту в ньому білка і β -глюканів, олії, а також загальної антиоксидантної активності.

Матеріал і методи дослідження. Матеріалом для досліджень слугували комерційні сорти озимого і ярого півчастого та голозерного ячменю походженням з різних селекційних центрів України та інших країн. Вивчали також ряд перспективних селекційних ліній голозерного ячменю, створених у відділі генетичних основ селекції СГІ–НЦНС. До програми досліджень була включена серія колекційних зразків ячменю, отриманих з різних джерел, зокрема і генетичної колекції Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва.

Вміст білка, олії та β -глюканів у зерні визначали за допомогою NIR аналізатора «Spectra Alyzer premium» виробництва німецької компа-

нії Zeutec, попередньо каліброваного за даними визначення вмісту цих компонентів шляхом прямого лабораторного аналізу статистичної вибірки мінімум 100 зразків.

Визначення загальної антиоксидантної активності як здатності нейтралізації вільних радикалів виконували співробітники Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва (м. Харків) з використанням препарату DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) як джерела стабільного вільного радикала згідно з методом, описаним у статті Arabshahi-Deloue S., Urooj A., 2007, з невеликими модифікаціями [13]. Компонд DPPH добре відомий як радикал і як пастка «*scavenger*» для інших вільних радикалів. Тому DPPH широко застосовують як індикатор для визначення швидкості зниження вільнорадикальної хімічної реакції при додаванні DPPH. Сам DPPH у розчині має темнофіолетовий колір та сильно поглинає при довжині хвилі 520 нм, а в процесі нейтралізації знебарвлюється або стає солом'яно-жовтим. Ця властивість DPPH дозволяє здійснювати візуальний моніторинг реакції нейтралізації та розрахунок початкової активності вільних радикалів при зниженні активності поглинання за довжини хвилі 520 нм. Зерно зразків ячменю було розмелено в СГІ–НЦНС на млині Perten 3100, упаковано в атмосфері азоту в пробірки erpendorf. Пробірки були поміщені у герметичний посуд в атмосфері азоту і зберігалися до виконання аналізу на антиоксидантну активність.

Результати досліджень. Узагальнені результати виконаних досліджень подано в таблиці 1. Тут представлені плівчасті і голозерні, озимі і ярі зразки ячменю (сорті і селекційні лінії) різного походження. Зразки голозерного ячменю були охарактеризовані також за ознакою забарвлення зерна, оскільки його колір є індикатором присутності в ньому певних пігментів, які являють собою тип фітохімічних речовин з доволі високою антиоксидантною активністю. Для плівчастих зразків об'єктивну диференціацію за кольором зерна зробити досить важко, оскільки їхнє зерно щільно покрите зерною плівкою.

Таблиця 1

Характеристика сортів і ліній голозерного і плівчастого ячменю за показниками харчової цінності зерна, % на суху масу зерна *as is*, урожай 2015 р.

Сорт, лінія	Походження	Колір зерна	Вміст білка, %	Вміст β -глюканів, %	Вміст олії, %	АОА, %
Голозерні ярі						
Ахілlec st	Україна, СГІ	коричн.	21,06	6,57	2,52	76,04
Ахілlec st	СГІ	коричн.	20,81	6,42	2,47	75,57
Ахілlec st	СГІ	коричн.	20,93	6,48	2,61	79,40
McGwire	Канада	біле	17,98	5,78	2,72	81,49
Alamo (wax)	Канада	біле	18,56	8,25	2,74	69,20
Alamo (wax)	Канада	біле	18,42	8,31	2,86	72,98
Candle (wax)	Канада	біле	17,78	7,68	2,76	71,82

Продовження табл. 1

Сорт, лінія	Походжен- ня	Колір зерна	Вміст білка, %	Вміст β-глю- канів, %	Вміст олії, %	АОА, %
Jet	Ефіопія	чорне	21,29	6,27	3,37	77,71
Arabische	Іран	чорне	15,88	7,08	3,04	79,90
H. trifurcatum	Монголія	коричн.	16,23	6,68	2,30	67,76
Fibar (wax)	Канада	біле	20,82	9,77	2,89	85,55
Alberte	Канада	біле	19,03	5,97	2,79	85,57
Hilose	Канада	коричн.	19,85	7,84	3,16	92,93
Lophy-1	Канада	біле	17,89	4,21	2,69	78,19
Rattan (wax)	Канада	біле	17,54	7,56	2,92	80,38
Carter	Канада	коричн.	16,97	6,61	2,68	85,81
Olande	Канада	коричн.	16,14	5,72	2,59	83,17
Омський голоз.2	Росія	коричн.	16,79	5,36	2,98	91,50
Gainer	Канада	коричн.	15,54	6,35	2,75	83,43
Гатунок	Україна	коричн.	19,41	5,67	2,69	81,21
Козацький	Україна	коричн.	19,81	5,40	2,59	69,60
СЛ-5107 (wax)	СГІ–НЦНС	біле	18,43	8,74	2,78	79,74
СЛ-5124 (wax)	СГІ–НЦНС	біле	17,60	8,58	2,70	76,88
СЛ-5175 (wax)	СГІ–НЦНС	біле	17,51	7,95	2,56	73,69
СЛ-5345 (wax)	СГІ–НЦНС	біле	17,38	8,88	2,75	78,29
СЛ-5008	СГІ–НЦНС	коричн.	16,92	6,74	2,53	75,33
СЛ-5075	СГІ–НЦНС	коричн.	16,73	6,22	2,42	76,60
СЛ-5085	СГІ–НЦНС	синє	16,87	6,32	2,48	78,31
СЛ-5126	СГІ–НЦНС	синє	17,34	6,86	2,71	82,26
СЛ-5228	СГІ–НЦНС	біле	16,18	6,25	2,32	67,12
СЛ-5347	СГІ–НЦНС	синє	16,82	6,46	2,48	74,79
СЛ-573/33	СГІ–НЦНС	коричн.	16,44	6,03	2,45	67,71
СЛ-5231	СГІ–НЦНС	коричн.	15,98	6,20	2,31	69,70
СЛ-5317	СГІ–НЦНС	коричн.	17,29	6,77	2,57	87,26
СЛ-5367	СГІ–НЦНС	коричн.	17,22	6,68	2,49	74,29
СЛ-5229	СГІ–НЦНС	синє	16,79	6,77	2,63	77,47
СЛ-5365	СГІ–НЦНС	коричн.	16,91	6,64	2,72	82,29
СЛ-5157	СГІ–НЦНС	коричн.	18,90	6,58	2,63	72,53
СЛ-5293	СГІ–НЦНС	коричн.	18,85	6,67	2,64	71,58
СЛ-5021	СГІ–НЦНС	біле	18,54	6,63	2,48	73,33
СЛ-5055	СГІ–НЦНС	коричн.	18,32	6,37	2,63	75,36
СЛ-5172	СГІ–НЦНС	коричн.	18,97	5,26	2,41	78,90
Гладіатор (озимий)	СГІ–НЦНС	коричн.	16,17	6,12	2,32	79,14
НІР _{0,05}			0,48	0,34	0,07	1,94
Плівчасті ярі						
Negra Manfredi	Ефіопія	чорне	16,67	6,36	3,26	71,82
Abyssinian 1105	Ефіопія	чорне	19,28	6,99	3,34	87,77
H 3334 Sulto 1	Ефіопія	чорне	17,95	7,39	3,08	64,49
Командор st	СГІ		15,52	5,34	2,37	78,39
Modern A/L	Україна		16,97	5,80	2,46	78,84
120706 A/L	Україна		16,75	5,56	2,35	75,68
120708в A/L	Україна		15,83	6,36	2,25	66,90

Продовження табл. 1

Сорт, лінія	Походження	Колір зерна	Вміст білка, %	Вміст β -глюканів, %	Вміст олії, %	АОА, %
Святогор	СГІ–НЦНС		13,74	5,86	2,46	71,40
Воєвода	СГІ–НЦНС		13,83	4,82	2,23	69,26
Первенець	СГІ–НЦНС		17,97	5,23	2,27	56,96
Вестник	СГІ–НЦНС		17,19	5,46	2,38	66,76
Чорноморець	СГІ–НЦНС		16,17	5,94	2,41	65,80
Гетьман	СГІ–НЦНС		13,75	5,31	2,37	73,42
Delphi	н/в		15,63	4,50	2,25	63,42
Jersey	Нідерланди		15,92	5,21	2,32	66,79
Sebastian	Данія		15,79	5,28	2,19	67,38
Ebson	Чехія		15,58	5,77	2,28	67,59
Henrike	Німеччина		14,74	5,14	2,27	72,29
Henrike	Німеччина		14,67	5,23	2,18	69,14
KWS Aliciana	Німеччина		15,86	5,28	2,23	60,83
KWS Bambina	Німеччина		15,31	4,24	2,15	74,88
Datcha	Франція		15,23	5,70	2,37	52,69
Marthe	Німеччина		16,88	5,24	2,15	47,93
Shakira	Німеччина		15,45	5,47	2,28	64,29
Kangoo	Нідерланди		15,92	5,55	2,36	51,93
Tolar	Чехія		14,36	5,72	2,07	47,14
Quench	Велика Британія		15,48	5,83	2,36	61,40
Claire	Німеччина		14,24	5,59	2,28	53,79
Malz	Чехія		14,33	5,68	2,24	52,24
Gladys	Нідерланди		13,71	5,11	2,31	58,52
Bojos	Чехія		14,08	4,93	2,25	55,05
Concerto	Франція		13,70	5,26	2,39	64,24
МК 403 (UA0801603)	Монголія		16,07	6,28	2,29	58,71
Golden Promise	США		15,72	5,44	2,26	56,69
Golden Promise x5	США		16,43	5,91	2,30	56,95
Golden Promise y10	США		17,76	5,63	2,47	65,07
Golden Promise x5+y10	США		17,14	6,45	2,33	56,64
HIP _{0,05}			0,47	0,21	0,09	3,16
Плівчасті озимі						
Достойний st	СГІ–НЦНС		11,86	5,69	1,59	55,24
Luran	Чехія		13,08	5,02	1,95	54,36
Cinderella	Німеччина		13,64	5,86	1,82	59,81
Артемівський	Росія		13,30	5,02	2,17	61,48
Еспада A/L	Росія		12,84	5,71	2,02	64,17
Кіндрат	Росія		13,58	5,91	2,14	62,26
Maybrit	Німеччина		13,30	4,99	2,23	65,45
Highlight	Німеччина		12,18	5,02	1,92	55,83
Gerlach	Нідерланди		12,98	6,14	1,99	60,43
Scarpia	Німеччина		12,93	5,79	1,64	60,14

Закінчення табл. 1

Сорт, лінія	Походження	Колір зерна	Вміст білка, %	Вміст β -глюканів, %	Вміст олії, %	АОА, %
Каріока	Росія		12,56	5,88	1,79	55,40
Тигр	Росія		11,89	5,42	2,14	72,52
Михайло	Росія		12,65	5,47	2,38	71,21
Кумач	Росія		13,18	5,32	1,97	52,00
Lester	Чехія		13,37	5,29	2,32	67,83
Metaxa (CP-535/20)	Росія		13,81	5,83	2,25	56,98
Mascara	Франція		12,75	5,24	2,12	54,21
Pictus	н/в		13,81	5,89	2,24	62,57
HIP _{0,05}			0,27	0,17	0,11	2,73

Примітка: н/в — немає відомостей; АОА — антиоксидантна активність.

З даних таблиці 1 видно, що вивчені зразки ячменю загалом суттєво і достовірно відрізнялися за досліджуваними показниками харчової цінності зерна. За вмістом білка в зерні спостерігалася чітка тенденція переваги ярих зразків над озимими і голозерних над плівчастими в межах одного й того ж морфотипу за ознакою плівчастість/голозерність. Максимально високий вміст білка виявився у зерні ярого сорту голозерного ячменю Ахіллес (21,06 %), ярого сорту ваксі канадської селекції Fibar (20,82 %), ярого високоамілозного сорту канадської селекції Hilose (19,85 %) та примітивних екзотичних зразків ячменю плівчастого Abyssinian 1105 (19,28 %) і голозерного Jet (21,29 %). Серед вивчених сортів озимого ячменю високим вмістом у зерні білка виділився шестирядний сорт Cinderella (13,64 %) та дворядний сорт Metaxa (13,81 %).

Результати вивчення зразків плівчастого і голозерного ячменю за вмістом білка у зерні узагальнено в таблиці 2. З даних таблиці 2 видно, що за вмістом білка в зерні плівчасті ячмені (ярі і озимі) при низькому коефіцієнті варіювання ознаки достовірно поступаються зразкам ярого голозерного ячменю.

Таблиця 2

Вміст білка в зерні різних морфотипів ячменю за ознакою плівчастість/голозерність

Тип ячменю	Кількість ліній, шт.	Вміст білка, %	
		($\pm S$)	V, %
Голозерний ярий	43	17,93 $\pm$ 0,24	8,66
Плівчастий ярий	37	15,72 $\pm$ 0,23*	8,72
Плівчастий озимий	20	12,96 $\pm$ 0,12*	4,39
HIP _{0,05} 0,65			
HIP _{0,01} 0,86			

Примітка: * — різниця вірогідна за рівня значимості $P \leq 0,01$.

Подібна картина спостерігалася також при порівнянні досліджених зразків голозерного і плівчастого ячменю за вмістом у них такої дієтично важливої сполуки, як некрохмалисті полісахариди β -глюкани (табл. 3).

Таблиця 3

Вміст β -глюканів у зерні різних морфотипів ячменю за ознакою плівчастість/голозерність

Тип ячменю	Кількість ліній, шт.	Вміст β -глюканів, %	
		($\pm S$)	V, %
Голозерний	43	$6,76 \pm 0,16$	15,31
Плівчастий ярий	37	$5,59 \pm 0,10^*$	10,98
Плівчастий озимий	20	$5,52 \pm 0,08^*$	6,55
		$HIP_{0,05} 0,34$	
		$HIP_{0,01} 0,45$	

Примітка: * — різниця вірогідна за рівня значимості $P \leq 0,01$.

Дані таблиці 3 свідчать, що зразки плівчастого ячменю (ярі і озимі) достовірно поступаються зразкам голозерного ячменю за вмістом β -глюканів у зерні. Звертає на себе увагу підвищений серед зразків голозерного ячменю у порівнянні з іншими морфотипами коефіцієнт варіювання за вмістом β -глюканів у зерні. Це пояснюється тим, що серед досліджених зразків ярого голозерного ячменю є кілька зразків з суттєво зміненим біохімічним складом крохмалю, а саме — співвідношенням амілоза/амілопектин, і, як наслідок, суттєво підвищеним рівнем β -глюканів. Так, зразки ячменю ваксі канадської селекції Alamo, Candle, Fibar, Rattan характеризуються вмістом у зерні β -глюканів на рівні 8–9 % і вище у порівнянні зі звичайними не ваксі ячменями з умістом β -глюканів на рівні 6–7 %. Отримані нами селекційні лінії ярого голозерного ячменю ваксі також наближаються за вмістом β -глюканів до рівня 9 %. Нагадаємо, що зразки ячменю ваксі мають вміст амілози у складі крохмалю 0 % або величину, близьку до 0 %. Важливо підкреслити, що канадський сорт високоамілозного ячменю (до 40 % амілози замість норми 20–25 %) Nilose також мав підвищений у зерні вміст β -глюканів (7,84 %). Підвищення вмісту β -глюканів у цих генотипів ячменю пояснюється тим, що при генетично детермінованому зміщенні співвідношення у зерні амілоза/амілопектин від норми 20–25/80–75 % загальний пул синтезованої у зерні глюкози метаболізується у формі некрохмалистих полісахаридів β -глюканів, завдяки чому у ячменів ваксі та високоамілозних ячменів вміст β -глюканів у порівнянні зі звичайним ячменем суттєво зростає [14]. Це особливо важливо для ячменю з високим вмістом у зерні амілози, оскільки його дієтична цінність складається як з резистентного крохмалю, завдяки підвищенню вмісту амілози, так і за рахунок зростання рівня некрохмалистих β -глюканів.

Важливою дієтичною складовою вважається олія ячменю, багата за вмістом незамінних жирних кислот та розчинних у ній токолінів з високою

антиоксидантною активністю (попередники вітаміну Е). Олія у зерні ячменю зосереджена головним чином у зародку, оболонці та алеїроновому шарі зернівки. За результатами наших досліджень вмісту олії у зерні було отримано наступні дані, наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Вміст олії у зерні різних морфотипів ячменю за ознакою плівчастість/голозерність

Тип ячменю	Кількість ліній, шт.	Вміст олії, %	
		($\pm S$)	V, %
Голозерний ярий	43	$2,65 \pm 0,03$	8,46
Плівчастий ярий	37	$2,37 \pm 0,04^*$	11,53
Плівчастий озимий	20	$2,06 \pm 0,05^*$	11,21
HIP _{0,05}		0,10	
HIP _{0,01}		0,14	

Примітка: * — різниця вірогідна за рівня значимості $P \leq 0,01$.

Знову ж таки дані таблиці 4 свідчать про те, що зразки голозерного ячменю за вмістом у зерні олії достовірно перевищують відповідні характеристики зерна плівчастих морфотипів. Привертає увагу більш високий коефіцієнт варіації показника вмісту олії у зерні зразків плівчастого ячменю, аніж у голозерного. Найімовірнішою причиною, яка пояснює підвищену варіацію за вмістом олії у зерні плівчастого ячменю, може бути розбіжність між зразками плівчастих генотипів за ознакою плівчастості або частки плівки (яка не містить олії) у загальній масі зерна. Як відомо, зразки плівчастого ячменю часто доволі суттєво відрізняються між собою за ознакою плівчастості. У наших дослідях за ознакою «вміст олії в зерні» на рівні 3 % і вище виділилося кілька зразків. Левову частку їх складають примітивні екзотичні генотипи з редукованим ендоспермом і, відповідно, підвищеною пропорцією маси зародка до загальної маси зернівки. Хоча до цієї групи зі значенням вмісту олії в зерні 3,16 % належить також комерційний канадський сорт з підвищеним вмістом у зерні амілози Hilose.

Наступною надзвичайно важливою характеристикою харчової цінності зерна ячменю, що ми вивчали у нашому досліді, є загальна антиоксидантна активність зерна (АОА). Результати дослідження зразків за цією ознакою наведені у таблиці 5.

Загальний рівень антиоксидантної активності, як бачимо з даних таблиці 1, варіює від мінімального 47,14 % у ярого плівчастого ячменю сорту Tolar, до майже удвоє вищого рівня 92,93 % у високоамілозного голозерного ячменю сорту Hilose. Помітно виражена різниця між дослідженими плівчастими і голозерними яриями зразками за загальним рівнем АОА на користь останніх, які показали середній рівень АОА 77,72 % у порівнянні з 64,14 % у ярих плівчастих, і лише 60,78 % у плівчастих озимих.

Таблиця 5

Антиоксидантна активність у зерні різних морфотипів ячменю за ознакою плівчастість/голозерність

Тип ячменю	Кількість ліній, шт.	АОА, %	
		($\pm S$)	V, %
Голозерний ярий	43	77,72 $\pm$ 0,91	7,86
Плівчастий ярий	37	64,14 $\pm$ 1,51*	14,35
Плівчастий озимий	20	60,78 $\pm$ 1,31*	9,63
		HIP _{0,05} 2,85	
		HIP _{0,01} 3,77	

Примітка: * — різниця вірогідна за рівня значимості $P \leq 0,01$.

Привертає увагу тенденція позитивної залежності між вмістом у зерні олії та загальною АОА. Як правило, підвищену і високу АОА показували зразки ячменю з високим або підвищеним рівнем вмісту в зерні олії. Показовим є також той факт, що зерно сорту Nilose має підвищені всі показники харчової цінності водночас (19,85 % білка, 7,84 % β -глюканів, 3,16 % олії і рівень АОА 92,93 %). Це може означати, що негативна кореляційна залежність між досліджуваними показниками харчової цінності зерна скоріш за все відсутня або доволі слабо виражена. І підтвердженням цього висновку можуть бути результати оцінки кореляційної залежності між усіма дослідженими нами показниками харчової цінності зерна ячменю, що наведені в таблиці 6.

Таблиця 6

Кореляційна залежність між показниками харчової цінності зерна ячменю (n = 100)

	АОА, %	вміст білка, %	вміст β -глюканів, %	вміст олії, %
АОА, %		0,589***	0,452***	0,701***
Вміст білка, %	0,589***		0,541***	0,724***
Вміст β -глюканів, %	0,452***	0,541***		0,577***
Вміст олії, %	0,701***	0,724***	0,577***	

Примітка: *** — достовірно за трьома рівнями значимості ($P > 0,05$ –0,001).

Як свідчать дані таблиці 6, між усіма дослідженими показниками харчової цінності зерна ячменю відсутня негативна залежність. Значення всіх вивчених у досліді характеристик позитивно корелюють між собою. Найвища позитивна кореляційна залежність зафіксована між вмістом олії та АОА ($r=0,701$) і між вмістом олії та білка в зерні ($r=0,724$). Отримані залежності досить легко пояснити тим, що, як зазначалося вище, олія містить жиророзчинні токоли з високою антиоксидантною активністю. В той же час олія міститься переважно у зародку зерна ячменю та периферійних шарах зернівки. У цих же анатомічних структурах зернівки міститься і висока концентрація білка, головним чином водо- і солерозчинного (класи альбуміни, глобуліни), який вирізняється високою харчовою

цінністю на відміну від суттєво менш цінних запасних білків, зосереджених у тканинах ендосперму зернівки ячменю.

Висновки.

1. Зразки ярого голозерного ячменю (сортів і селекційні лінії) достовірно переважають зразки півчастого ячменю (ярі і озимі) за такими важливими характеристиками харчової цінності зерна, як вміст білка в зерні, олії, β -глюканів та оцінка загальної антиоксидантної активності зерна.

2. Отримані нами дані дослідження свідчать про те, що селекція ячменю харчового напряму технологічного використання зерна має бути спрямована на створення перш за все сортів ярого голозерного ячменю.

3. Серед дослідженого матеріалу виділені зразки з високим і підвищеним вмістом білка в зерні, олії, β -глюканів та рівнем загальної антиоксидантної активності зерна, які можуть бути рекомендованими для використання в селекції сортів голозерного ячменю харчового напряму використання.

4. Не виявлено негативної кореляційної залежності між досліджуваними характеристиками харчової цінності зерна ячменю, такими як вміст у зерні білка, олії, β -глюканів та загальна антиоксидантна активність зерна.

5. Найвища позитивна кореляційна залежність зафіксована між показниками вмісту олії у зерні та AOA ($r=0,701$), між вмістом олії та білка в зерні ($r=0,724$).

6. Високоамілозний комерційний сорт голозерного харчового ячменю канадської селекції CDC Hilose (автор Brian Rossnagel) може слугувати прикладом успішного комбінування в одному генотипі високих значень досліджених нами показників харчової цінності зерна ячменю і джерелом цих ознак для подальшого селекційного використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Newman R. Barley for food and health / R. Newman, C. Newman // Science, technology and products. — Hoboken; New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Publications, 2008. — 245 p.
2. William D. Wheat Belly. Lose the wheat, lose the weight, and find your path back to health / D. William. — New York: Rodale, Inc., 2012. — 214 p.
3. Kerckhoffs D. Effect on the human lipoprotein profile of β -glucan, soy protein and isoflavones, plant sterols, garlic and tocotrienols / D. Kerckhoffs, F. Brouns, G. Hornstra [et al.] // J. Nutr. — 2002. — V. 132. — P. 2494–2505.
4. Wang L. Tocotrienol and fatty acid composition of barley oil and their effects on lipid metabolism / L. Wang, Q. Xue, R. Newman [et al.] // Plant Foods Hum. Nutr. — 1993. — V. 43. — P. 9–17.
5. Aggarwal B. Tocotrienols, the vitamin E of the 21st century: its potential against cancer and other chronic diseases / B. Aggarwal, C. C. Sundaram, S. Prasad [et al.] // Biochemical Pharmacology. — 2010. — V. 80. — P. 1613–1631.
6. FDA (U. S. Food and Drug Administration) 2006. Food labeling: health claims; soluble dietary fiber from certain foods and coronary heart disease. Fed. Reg. 71(98):29248.

7. Hasler C. M. Functional foods: their role in disease prevention and health promotion / C. M. Hasler // Food Technol. — 1998. — V. 52. — P. 57–62.
8. Lazaridou A. Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: physical properties, technological applications and physiological effects / A. Lazaridou, C. J. Biliaderis // Cereal Sci. — 2007. — V. 46. — P. 101–118.
9. Havrlentova M. Cereal β -glucan and their significance for the preparation of functional food / M. Havrlentova, Z. Petrulakova, A. Bugarova // Czech. J. Food Sci. — 2011. — V. 29. — P. 1–14.
10. Wood P. J. Relationship between solution properties of cereal β -glucans and physiological effects: a review / P. J. Wood // Trends Food Sci. Technol. — 2002. — V. 13. — P. 313–320.
11. Wood P. J. Cereal β -glucans in diet and health / P. J. Wood // J. Cereal Sci. — 2007. — V. 46. — P. 230–238.
12. Robertson J. Solubilisation of mixed linkage (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- β -D-glucan from barley: effect of cooking and digestion / J. Robertson, G. Majsak-Newman, S. Ring [et al.] // J. Cereal Sci. — 1996. — V. 25. — P. 275–283.
13. Arabshahi-Deloue S. Antioxidant Properties of Various Solvent Extracts of Mulberry *Morus indica* L. Leaves / S. Arabshahi-Deloue, A. Urooj // Food Chem. — 2007. — V. 102. — P. 1233–1240.
14. Brennan C. The potential use of cereal (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- β -D-glucan as functional food ingredients / C. Brennan, I. Cleary // J. Cereal Sci. — 2005. — V. 42. — P. 1–13.

Надійшла 13.09.2016

UDC 633.16:664.786

Rybalka A. I., Polyshchuk S. S., Shcherbyna Z. V. Plant Breeding and Genetics Institute — National Center of Seed and Cultivar Investigations

THE ESTIMATION OF GRAIN NUTRITIONAL VALUE INDEXES OF BARLEY (*HORDEUM VULGARE* L.)

The values of grain nutritional characters of commercial varieties, collection strains and breeding lines of spring and winter, hulled and hull less barley were presented in the paper. The hull less barley samples have considerable advantages over the samples of hulled barley in such nutritional grain characters as grain protein content, non starch polysaccharides β -glucan content, oil content as well as general grain antioxidant activity. A high positive correlation between grain oil content and general grain antioxidant activity, between grain oil content and protein concentration were found. Such correlations are well explainable since barley oil contained with tocols (tocopherol and tocotrienol) possessing a high antioxidant activity. Oil and proteins both located in the barley germ and peripheral tissues of the barley grain.

УДК 633.16:664.786

Рыбалка А. И., Полищук С. С., Щербина З. В. Селекционно-генетический институт — Национальный центр семеноведения и сортоизучения

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ ЗЕРНА ЯЧМЕНЯ (*HORDEUM VULGARE L.*)

Представлены результаты исследования показателей пищевой ценности зерна коммерческих сортов, коллекционных образцов и селекционных линий ярового и озимого, голозерного и пленчатого ячменя. Показано, что образцы голозерного ячменя имеют достоверное преимущество над образцами пленчатого ячменя по показателям содержания в зерне сырого протеина, некрахмалистых полисахаридов β -глюканов, жира и общей антиоксидантной активности зерна. Установлена высокая позитивная корреляционная зависимость между содержанием в зерне жира и общей антиоксидантной активностью, содержанием в зерне жира и белка. Такая зависимость вполне логична и объясняется тем, что в масле ячменя содержатся жирорастворимые токолы (токоферолы и токотриенолы), характеризующиеся высокой антиоксидантной активностью, а масло и белок сосредоточены главным образом в зародыше и периферических частях зерновки ячменя.

УДК 633.11: 631.524.86

О. В. БАБАЯНЦ, д. б. н., ст. науч. сотр., зав. отд.,
Н. И. САУЛЯК, асп.,
Л. Т. БАБАЯНЦ, к. с.-х. н., вед. науч. сотр.,
К. П. ТЕРНОВОЙ., асп.,
А. В. ГАЛАЕВ, к. б. н., вед. науч. сотр.
СГИ–НЦНС, Одесса
e-mail: fungi@ukr.net

НОВЫЙ ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) НА ГРУППОВУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ К ФИТОПАТОГЕНАМ

В отделе фитопатологии и энтомологии Селекционно-генетического института созданы линии пшеницы мягкой озимой 57/12, 269/13, 280/13, 15/14, 16/14, 43/14, 52/14, 59/14, 63/14, 66/14, 2228/14, обладающие групповой устойчивостью к основным фитопатогенам. Устойчивость к возбудителю бурой ржавчины контролируется генами Lr24, Lr 1AL/1RS, Lr34, Lr26, Lr21.

Ключевые слова: пшеница, групповая устойчивость, фитопатоген, гены устойчивости.

Вступление. Успешность селекции на иммунитет к болезням прямо зависит от наличия у селекционеров исходного материала с эффективными генами устойчивости.

Созданные сорта должны обладать групповой устойчивостью к возбудителям основных болезней и другими ценными признаками (продуктивность, качество зерна, устойчивость к абиотическим факторам окружающей среды). Их возделывание в производстве обосновано как с экономической, так и с экологической точек зрения, т. к. позволит значительно снизить объем применения фунгицидов, а также использовать эти сорта в условиях экологического земледелия.

В СГИ создание исходного селекционного материала пшеницы с групповой устойчивостью к возбудителям основных болезней традиционно в течение многих лет проводится в отделе фитопатологии и энтомологии. В кооперации с сотрудниками отдела селекции пшеницы СГИ и генетиком, д. б. н. А. И. Рыбалкой уже получены сорта Княгиня Ольга, Выхованка одесская, Ластивка одесская [1].

Методика исследования. При создании исходного материала и сортов пшеницы с групповой устойчивостью к возбудителям основных болезней (бурая, желтая и стеблевая ржавчины, мучнистая роса, желто-бурая пятнистость, твердая головня и др.) в качестве доноров устойчи-

ности использовали линии от межвидовой гибридизации, а также некоторые отечественные и зарубежные сорта с эффективными *Lr*-, *Yr*-, *Sr*-, *Pm*-, *Bt*-генами. Для их идентификации проводили гибридологический анализ, использовали и другие методы [1–3]. В качестве рекуррентных родительских форм гибридов использовали сорта пшеницы мягкой озимой селекции СГИ и других научных учреждений.

В полевом инфекционном питомнике на искусственно созданном комбинированном фоне листостебельных болезней (бурая, желтая и стеблевая ржавчины, мучниста роса и др.) в поколениях гибридов F_1 , F_1BC_1 отбирали устойчивые и выбраковывали восприимчивые растения. Семена перед посевом заспорили телиоспорами возбудителя твердой головки. В популяции гибридов F_2 — F_4 , F_2BC_1 на комбинированном инфекционном фоне указанных выше болезней проводили фитопатологическую оценку к патогенам и отбор колосьев растений, проявляющих групповую устойчивость. После браковки (выполненность семян, наличие внешне видимых признаков фузариозной, альтернариозной и других инфекций) семена отобранных колосьев заспорили телиоспорами возбудителя твердой головки и высевали широкоявно в так называемом селекционном питомнике, в котором с помощью сортов-накопителей инфекции создавали также инфекционный фон листостебельных болезней. В этом же питомнике проводили фитопатологическую оценку устойчивости номеров (потомков отобранных колосьев) к листостебельным болезням по реакциям растений на инфекцию патогенов и их интенсивности поражения. Степень устойчивости или восприимчивости номеров к возбудителю твердой головки определяли по количеству у них колосьев с головневой инфекцией или отсутствию таковых. Отбору подлежали номера, обладающие групповой устойчивостью и другими полезными признаками (разновидность, выравненность и высота растений, кустистость и др.). Семена отобранных образцов оценивали в отделе генетических основ селекции СГИ по их выполненности и седиментации (SDS30). Отобранные номера (F_4 – F_6) вместе с сортами-стандартами высевали в контрольном питомнике сплошным способом деланками 5 м^2 и нормой посева 5,0 млн/га.

Для получения материала, гомозиготного по устойчивости к патогенам и другим признакам, практиковали индивидуальные отборы колосьев как в селекционном, так и в контрольном питомниках. Их семена повторно высевали в селекционном питомнике для фитопатологических оценок и отборов устойчивых гомозиготных номеров.

В контрольном питомнике изучали устойчивость линий и сортов пшеницы к естественному инфицированию патогенами, а в полевых инфекционных питомниках — к возбудителям каждой болезни в отдельности. В теплице и лаборатории на светоустановках изучали устойчивость материала в ювенильной фазе развития растений к возбудителям листостебельных болезней (виды ржавчины, мучнистая роса, пиренофо-

роз, септориоз листьев). В работе руководствовались общепринятыми методами инокуляции растений и создания инфекционных фонов, оценок устойчивости пшеницы к возбудителям болезней, описанными в нашей монографии «Основы селекции и методология оценок устойчивости пшеницы к возбудителям болезней» [1].

Идентификацию генов устойчивости к бурой ржавчине в линиях пшеницы выполняли с помощью молекулярных маркеров согласно методической рекомендации [4] в отделе общей и молекулярной генетики.

Таблица 1

Линии пшеницы мягкой озимой с групповой устойчивостью к возбудителям болезней, созданные в отделе фитопатологии и энтомологии СГИ, 2013–2015 гг.

Фитолиния, сорт	Blumeria graminis (DC) Speer f. sp. tritici		Puccinia tritricina		Puccinia striiformis		Puccinia graminis f. sp. tritici		Tilletia caries		Pyreno- phora tritici- repentis	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
57/12	8	9	8	8	7	8	8	8	9	9	6	7
269/13	7	8	7	8	6	6	8	9	9	9	5	6
280/13	5	7	8	9	5	6	8	8	9	9	5	5
282/13	8	9	8	8	6	7	7	8	9	9	6	7
15/14	7	8	8	8	7	8	8	8	9	9	6	6
16/14	8	9	8	9	8	9	8	8	9	9	6	6
43/14	8	9	8	9	6	6	8	8	9	9	6	6
52/14	7	8	8	9	7	8	7	8	9	9	6	6
59/14	8	9	8	9	8	8	8	8	9	9	6	6
63/14	8	9	8	8	8	8	8	9	9	9	6	7
66/14	6	6	8	8	7	8	8	9	9	9	5	6
96/14	8	9	8	9	6	6	8	8	9	9	5	5
2228/14	8	9	8	8	8	8	7	8	9	9	6	7
Куяльник	3	5	3	5	7	8	3	4	3	4	5	5
Сорта-индикаторы высокой устойчивости												
Одесская п/к	1	2	1	1			1	2			3	3
Лузановка					2	2			2	2		

Примечание: баллы характеризуют: 1 — очень высокую восприимчивость, интенсивность поражения 100 %; 2 — высокую восприимчивость, интенсивность поражения и количество колосьев с твердой головней 90 %; 3 — восприимчивость, интенсивность поражения и количество колосьев с твердой головней 65 %; 4 — восприимчивость, интенсивность поражения и количество колосьев с головней 40 %; 5 — слабую восприимчивость, интенсивность поражения 25 %; 6 — устойчивость, интенсивность поражения 15 %; 7 — устойчивость, интенсивность поражения 10 %; 8 — высокую устойчивость, интенсивность поражения 5 %; 9 — очень высокую устойчивость, поражения отсутствуют.

Результаты исследования. В сообщении представлена информация о новом исходном материале пшеницы мягкой озимой с групповой устойчивостью к возбудителям основных заболеваний.

Линия пшеницы фито 269/13 обладает устойчивостью к возбудителям мучнистой росы, видов ржавчин и твердой головни, а фито 2228/14 — также к возбудителю пиренофороза (табл. 1).

Установлено, что их устойчивость контролируется одним-двумя *Pm*-, *Lr*-, *Yr*-, *Bt*-, *Tsn*-генами. У них идентифицированы гены *Lr26+Lr34*, из которых *Lr34* происходит от пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.), остальные *Lr26* от сорта ржи Petkus (*Secale cereale* L.) [5]. По сравнению с сортом Куяльник они относительно низкорослы, близки к нему по массе 1000 зерен и урожайности. Первая из них уступает Куяльнику по седиментации, вторая — превосходит его (табл. 2).

Линия пшеницы фито 280/13 обладает устойчивостью к возбудителям видов ржавчины и твердой головни (табл. 1). Её устойчивость к возбудителю бурой ржавчины контролируется генами *Lr24+Lr1AL/1RS+Lr34*, перенесен данный комплекс *Lr* генов от сорта Amigo (табл. 3). В свою очередь у этого сорта ген *Lr24* происходит от *Thinopyrum ponticum* Podp., ген *Lr 34* — от пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.), а *Lr1AL/1RS* — от сорта ржи Insave (*Secale cereale* L.).

Таблица 2

Хозяйственно-биологическая характеристика линий пшеницы, созданных в отделе фитопатологии и энтомологии СГИ, 2013–2014 гг.

Фито- линия, сорт	Разновидность	Высота рас- тений, см		Масса 1000 зерен, г		Седимен- тация SDS30K		Урожай- ность, т/га	
		1	2	1	2	1	2	1	2
57/12	эритроспермум	85	90	40,6	42,6	63	75	7,3	7,6
269/13	эритроспермум	80	90	42,5	43,0	53	59	7,0	7,7
280/13	эритроспермум	80	95	45,0	45,4	53	54	7,4	7,9
282/13	эритроспермум	80	95	41,0	42,0	60	72	7,3	8,0
15/14	эритроспермум	95	105	40,4	45,6	66	89	7,2	7,9
16/14	эритроспермум	95	105	43,8	44,6	65	88	7,4	7,7
43/14	эритроспермум	105	115	41,0	41,0	63	81	7,4	7,7
52/14	эритроспермум	90	90	42,2	43,2	62	71	7,2	8,6
59/14	эритроспермум	90	110	41,6	42,8	61	64	7,0	7,7
63/14	эритроспермум	85	90	45,2	45,4	70	90	7,0	7,7
66/14	лютесценс	85	95	42,8	44,8	47	52	7,6	7,9
96/14	лютесценс	80	95	43,0	45,6	54	54	7,0	8,1
2228/14	эритроспермум	80	85	41,1	41,6	67	80	7,0	7,9
Куяльник	эритроспермум	90	105	40,8	42,8	60	71	7,2	7,8

По высоте растений и урожайности линия близка к сорту Куяльник, превышая его показатель по массе 1000 зерен, но уступая ему по седиментации (табл. 2).

Линии фито 282/13 и фито 57/12 обладают устойчивостью к возбудителям мучнистой росы, видов ржавчины, твердой головни, пиренофороза (табл. 1). Установлено, что их устойчивость контролируется *Pm*, *Lr*, *Yr*, *Sr*,

Bt-генами. У них ідентифіцировані гени *Lr21+Lr26+Lr34*, що походять від сорту Волинська полуінтенсивна (табл. 3). В свою чергу, у цього сорту ген *Lr21* походить від *Triticum erebuni*, *Lr26* — від сорту ржи Petkus (*Secale cereale* L.), *Lr34* — від пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.).

Таблиця 3

Родословна фітоліній пшениці, створених в відділі фітопатології
і ентомології СГІ, 2013–2014 гг.

269/13, 2228/14	Gueb./Ky./Од.н/к/ Ae.cyl / Од.н/к /Л. 23397
280/13	Обр./Tr. ereb./Од162/Укр. ² /Ант./Am.
57/12, 282/13	Вол.п.к./Дон.н.к./Ae.var./Укр./Нік.
96/14	Rad./Дон.н.к./Ae.var./Укр./Нік.
15/14, 16/14, 63/14	Обр./Tr.ereb./Од162/Укр. ² / Дон.н.к./Ae.var./Укр./Нік./Am.
43/14	Ky./MA1
52/14	Кн.О/Обр./Tr. ereb./Од162/Укр. ² /Селян.
59/14	Од.н /Ae.cyl / Од.н / Л. 23397/Дон.н.к./Ae.var./Укр./ Нік.
66/14	Куп./Ky.

Лінії фіто 15/14, фіто 16/14 і фіто 63/14 мають стійкість до хвороб пшениці, видів ржавчини, твердої голівки і піренофороза (табл. 1). Встановлено, що їх стійкість контролюється домінуючими *Pm*-, *Lr*-, *Yr*-, *Sr*-, *Bt*-генами. У них ідентифіцировані гени *Lr24+Lr34*, що походять від сорту Amigo (табл. 3). В свою чергу у цього сорту ген *Lr24* походить від *Thinopyrum ponticum* Podp., *Lr 34* — від пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.). Лінії за висотою рослин, масою 1000 зерен і урожайності близькі сорту Куяльник, але переважають його за сідиментацією (табл. 2).

Лінія 43/14 стійка до хвороб пшениці, видів ржавчини, твердої голівки, піренофороза (табл. 1). Її стійкість контролюється домінуючими *Pm*-, *Lr*-, *Yr*-, *Sr*-, *Bt*-генами. Ідентифіцировані гени *Lr26* + новий, які передані від лінії MA1 (табл. 3) і ведуть своє походження від сорту ржи Petkus (*Secale cereal* L.). Вона більш високоросла, ніж сорт Куяльник. За масою 1000 зерен, показателем сідиментації і урожайності близька до нього (табл. 2).

Лінія фіто 52/14 має стійкість до хвороб пшениці, видів ржавчини, твердої голівки, піренофороза (табл. 1). Встановлено, що її стійкість контролюється домінуючими *Pm*-, *Lr*-, *Yr*-, *Sr*-, *Bt*-генами. Лінія за висотою рослин, масою 1000 зерен, показателем сідиментації близька сорту Куяльник, але переважає його за урожайності в середньому на 5 % (табл. 2).

Лінія фіто 59/14 має стійкість до хвороб пшениці, видів ржавчини, твердої голівки, піренофороза (табл. 1). Встановлено, що її стійкість контролюється домінуючими *Pm*-, *Lr*-, *Yr*-, *Sr*-, *Bt*-генами. За висотою рослин, масою 1000 зерен, показателем сідиментації лінія ідентична сорту Куяльник (табл. 2).

Линия фито 66/14 обладает устойчивостью к возбудителям мучнистой росы, видов ржавчины, твердой головни, пиренофороза (табл. 1). Установлено, что ее устойчивость происходит от сорта Купава (табл. 3) и контролируется доминантными генами. У нее идентифицированы гены *Lr26+Lr34*. Ген *Lr34* передан в линию фито 66/14 от сорта Куяльник и происходит от пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.). Ген *Lr26* происходит от ржи (*Secale cereal* L.). Растения линий ниже, чем у сорта Куяльник (на 7,5 см), близки к нему по массе 1000 зерен и урожайности, но уступают по показателю седиментации (табл. 2).

Линия фито 96/14 обладает устойчивостью к возбудителям мучнистой росы, видов ржавчины, твердой головни (табл. 1). Установлено, что ее устойчивость контролируется одним-двумя доминантными *Pm*-, *Lr*-, *Yr*-, *Sr*, *Bt*-генами. У нее идентифицированы гены *Lr24+Lr1AL/1RS*, переданные от сорта Raduza (табл. 3). В свою очередь у этого сорта ген *Lr24* происходит от *Thinopyrum ponticum* Podp., а *Lr1AL/1RS* — от сорта ржи Insave (*Secale cereal* L.). Линия по высоте растений, массе 1000 зерен и урожайности близка сорту Куяльник, но уступает ему по показателю седиментации (табл. 2).

Выводы. Все вышеперечисленные линии являются ценным материалом, который можно использовать в качестве доноров групповой устойчивости при селекции пшеницы на иммунитет к болезням.

Особо следует отметить линии фито 15/14, фито 16/14, фито 43/14, фито 63/14, фито 2228/14. Они, наряду с групповой устойчивостью к патогенам, имеют высокие показатели седиментации SDS30K, указывающие на хорошее качество зерна.

Ряд из них использованы селекционерами СГИ в гибридизации в качестве доноров групповой устойчивости, некоторые переданы в Национальный центр растительных ресурсов Украины для пополнения генбанка. Информация о них представлена в наших публикациях [1–3; 5–12].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаянц О. В. Основы селекции и методология оценок устойчивости пшеницы к возбудителям болезней: монография / О. В. Бабаянц, Л. Т. Бабаянц. — Одесса, 2014. — 399 с.
2. Бабаянц Л. Т. Новый исходный материал для селекции пшеницы на устойчивость к возбудителям инфекционных заболеваний / Л. Т. Бабаянц, А. И. Рыбалка, О. В. Бабаянц // Пшеница и тритикале: материалы научно-практической конференции «Зеленая революция П. П. Лукьяненко», Краснодар, 28–30 мая 2001 г. — Краснодар: Советская Кубань, 2001. — С. 329–336.
3. Бабаянц Л. Т. Источники и доноры новых генов устойчивости к фитопатогенам / Л. Т. Бабаянц, А. И. Рыбалка, О. В. Бабаянц [и др.] // Труды по фундаментальной и прикладной генетике. — Харьков: Штрих, 2001. — С. 232–241.
4. Галаев О. В. Ідентифікація генотипів пшениці м'якої за комплексом генів, які забезпечують стійкість до листової іржі в умовах Півдня України: ме-

- тод. реком. / О. В. Галаєв, А. Ф. Гораш, Л. Т. Бабаянц. — Одеса, 2015. — 12 с.
5. Бабаянц Л. Т. Расовый состав *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* et Henn в Степи Украины и сортоустойчивость пшеницы / Л. Т. Бабаянц, О. В. Бабаянц, А. А. Васильев, В. А. Трасковецкая // Зб. наук. праць СГІ. — Одеса, 2004. — Вип. 6 (46). — С. 279–288.
 6. Бабаянц О. В. Генетические ресурсы для селекции пшеницы на устойчивость к возбудителям инфекционных заболеваний в степной зоне Украины / О. В. Бабаянц, Л. Т. Бабаянц, В. Л. Барановская [и др.] // Фактори експериментальної еволюції організмів: збірник наукових праць. — Київ: Логос, 2006. — Т. 3. — С. 170–173.
 7. Бабаянц Л. Т. Исходный материал с новыми генами устойчивости к фитопатогенам для селекции пшеницы на групповой иммунитет / Л. Т. Бабаянц, О. В. Бабаянц // Досягнення і проблеми генетики, селекції та біотехнології: збірник наукових праць. — К.: Логос, 2007. — Т. 2. — С. 307–311.
 8. Babayants O. Physiologic specialization of *Puccinia triticina* Erikss. And teffectiveness of Lr-genes in the south of Ukraine during 2013–2014 / O. Babayants, L. Babayants, A. Gorash, V. Traskovetskaya [et al.] // Chilean Journal of Agricultural research. — 2015. — 75(4). — P. 443–450.
 9. Gorash A. Leaf rust resistance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines derived from interspecific crosses / A. Gorash, A. Galaev, O. Babayants, L. Babayants // Zemdirbyste-Agriculture. — 2014. — Vol. 101, No. 3. — P. 295–302.
 10. Трасковецька В. А. Стійкість озимої пшениці селекції СГІ до збудника бурої листової іржі (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) у різних епіфітотійних ситуаціях / В. А. Трасковецька // Зб. наук. праць СГІ. — 2009. — Вип. 13 (53). — С. 18–24.
 11. Бабаянц Л. Т. Новые интрогрессированные гены устойчивости к фитопатогенам и их использование в селекции пшеницы на иммунитет / Л. Т. Бабаянц, О. В. Бабаянц // Зб. наук. праць СГІ–НЦНС. — Одеса, 2008. — Вип. 11 (51). — С. 12–20.
 12. Бабаянц О. В. Генетическая детерминация устойчивости пшеницы к *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici*, происходящая от *Aegilops cylindrica*, *Triticum erebuni*, Амфидиплоида 4 / О. В. Бабаянц, Л. Т. Бабаянц, А. Ф. Гораш [и др.] // Зб. наук. праць СГІ. — Одеса, 2010. — Вип. 16 (56). — С. 185–202.

Поступила 08.12.2016

UDC 633.11.631.524.86

Babayants O. V., Saulyak N. I., Babayants L. T., Ternovyi K. P., Gallaev A. V. Plant Breeding and Genetics Institute — National Center of Seed and Cultivar Investigations

THE NEW INITIAL BREEDING MATERIAL OF WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) FOR SELECTION TO COMPLEX RESISTANCE TO PHYTPATHOGENES

In the department of plant pathology and entomology Plant Breeding and Genetics Institute created lines of winter wheat soft 57/12, 269/13, 280/13, 15/14, 16/14, 43/14, 52/14, 59/14, 63/14, 66/14, 2228/14 having the group resistance to major pathogens of wheat. Resistance from pathogens brown leaf rust in these lines is controlled by genes Lr24, Lr 1AL / 1RS, Lr34, Lr26, Lr21. Some of the presented lines (phyto 15/14, 16/14 Phyto, Phyto 43/14, Phyto 63/14, Phyto 2228/14) except resistance group have fitopotoheniv high quality grain.

УДК 633.11.631.524.86

Бабаянц О. В., Сауляк Н. І., Бабаянц Л. Т., Терновий К. П., Галаєв О. В. Селекційно-генетичний інститут — Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення

НОВИЙ ВИХІДНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ СЕЛЕКЦІЇ ПШЕНИЦІ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) НА ГРУПОВУ СТІЙКІСТЬ ДО ФІТОПАТОГЕНІВ

У відділі фітопатології та ентомології Селекційно-генетичного інституту створені лінії пшениці м'якої озимої 57/12, 269/13, 280/13, 15/14, 16/14, 43/14, 52/14, 59/14, 63/14, 66/14, 2228/14, котрі мають групову стійкість до основних збудників хвороб. Стійкість до збудника бурої листової іржі у цих ліній контролюється генами Lr24, Lr 1AL/1RS, Lr34, Lr26, Lr21. Деякі з представлених ліній (фіто 15/14, фіто 16/14, фіто 43/14, фіто 63/14, фіто 2228/14), окрім групової стійкості до фітопотогенів, мають високі показники якості зерна.

ГЕНЕТИКА

УДК 633.11: 575.16

В. И. ФАЙТ¹, д. б. н., чл.-кор. НААН, ст. науч. сотр., зам. дир. по науч. раб.,
Е. Ю. ГУБИЧ², ассист.,

И. А. БАЛАШОВА¹, к. б. н., вед. науч. сотр.

¹СГИ–НЦСС, Одесса

²ОГАУ, Одесса

e-mail: faygen@ukr.net

РАЗЛИЧИЯ СОРТОВ-ДВУРУЧЕК ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ПО ГЕНАМ *Ppd-1* ФОТОПЕРИОДИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Обсуждаются результаты изучения реакции на фотопериод, генетического контроля фотопериодической чувствительности 11 сортов-двуручек пшеницы мягкой. Показано, что сорта Зимоярка, Ласточка, Хуторянка и линия Мироновская 808-Vrn-B1a сильно чувствительны к фотопериоду и являются носителями только рецессивных аллелей генов Ppd-1. Сорта Афина, Паллада, Соломия, Шестопаловка, Яра, Demir 2000 и L 897 Я 23 слабо реагируют на сокращение продолжительности дня вследствие присутствия в их генотипах доминантного аллеля Ppd-D1a и по данному показателю не соответствуют критериям «типичных» двуручек.

Ключевые слова: пшеница, двуручки, фотопериод, гены *Ppd-1*.

Вступление. Многие виды однолетних растений помимо типичных озимых и типичных яровых представлены генотипами, способными развиваться как по озимому, так и по яровому пути, их еще называют двуручками, переходными, альтернативными, факультативными яровыми или факультативными озимыми. Хозяйственная ценность двуручек заключается в том, что в случае неблагоприятной осени сев можно перенести на весну, а весной — сеять в изреженных осенних посевах семена того же сорта. На Юге Украины почти каждый второй год (46 %) характеризуется дефицитом влаги в период оптимальных сроков сева, что затрудняет получение своевременных и дружных всходов [1]. Наиболее рациональное использование двуручек в регионе — поздние осенние и зимние посевы в годы с продолжительной сухой осенью [2]. На сегодня в Реестре сортов растений, пригодных для распространения в Украине, уже зарегистрирован один сорт-двуручка пшеницы Хуторянка.

Главной неотъемлемой особенностью сортов-двуручек является сильная реакция на сокращение продолжительности дня [3; 4]. У по-

давяющего большинства двуручек под воздействием укороченного 12-часового дня отмечали существенную задержку в развитии на стадии кущения, а некоторые из них переходили к колошению, но значительно позже по сравнению с условиями удлиненного дня [5]. Сильная фотопериодическая чувствительность пшениц-двуручек обусловлена присутствием в их генотипе рецессивных аллелей трех генов ортологической серии *Ppd-1* [6]. Для успешной селекции сортов альтернативного образа жизни необходима идентификация генотипов по генам типа и темпов развития [7].

Цель работы — изучить реакцию на фотопериод и идентифицировать *Ppd-1* генотипы современных сортов-двуручек пшеницы мягкой различного происхождения.

Материал и методы. В качестве исходного материала использовали сорта Афина, Ласточка, Паллада, Яра, L 897 Я 23 (КНИИСХ им. П. П. Лукьяненко, Россия), Хуторянка, Зимоярка (ИФРИГ НАНУ, Киев), Соломия — (ХДАУ, Херсон), Шестопаловка (ЧССП «БОР»), охарактеризованные их авторами как двуручки [8; 9], а также сорт Demir 2000, который, согласно описания; центра генетических ресурсов Украины, является двуручкой. Как контроль использовали двуручку — почти изогенную линию Мироновская 808-*Vrn-B1a* [6].

Указанные сорта скрещивали в полевых условиях по полудидальской схеме. Семена F_1 всех комбинаций скрещивания по каждому сорту высевали осенью в поле для получения семян F_2 . Семена сортов и F_2 популяций проращивали при комнатной температуре. Пятидневные проростки подвергали яровизации 40 суток в камере КНТ-1 при +2°C и 12-часовом освещении. После окончания яровизации одну часть проростков высаживали в 5-литровые сосуды по 10 растений на сосуд и выращивали в условиях удлиненного (16 часов день + 8 часов ночь), а вторую часть и F_2 популяции — в условиях укороченного (12 часов день + 12 часов ночь) дня оранжерей фитотрона. На каждом из фотопериодов высаживали и пятидневные проростки сортов, не подвергавшихся яровизации.

Во время вегетации отмечали дату колошения индивидуальных растений. В качестве степени фотопериодической чувствительности (d) использовали разницу между средними значениями продолжительности периода до колошения сорта в каждом конкретном варианте яровизации при выращивании в условиях удлиненного и укороченного фотопериода.

Гибридологический анализ сортов-двуручек по фотопериодической чувствительности и разделение F_2 популяций на фенотипические классы рано- и позднеколосящихся растений проводили по методике [10].

Статистическую обработку данных проводили по общепринятым методикам дисперсионного и корреляционного анализа, расчета средних и их ошибок достоверности разницы между двумя вариантами, соответ-

ствия фактически полученных результатов расщепления теоретической гипотезе [11; 12].

Для идентификации аллелей гена *Ppd-D1* использовали мультиплексную STS-ПЦР с генспецифическими праймерами [13]. Экстракцию ДНК из сухого зерна или пятидневных проростков осуществляли СТАВ-методом [14]. При использовании трех праймеров (один прямой Ppd-D1_F и два обратных) гибридизация праймеров с комплементарными участками ДНК-матрицы происходит в зависимости от наличия определенного аллеля маркируемого гена. В случае присутствия мутантного аллеля *Ppd-D1a* продуктом реакции является фрагмент ДНК 288 п. н. Аллель *Ppd-D1b* (рецессивный) детектируется по наличию маркерного ампликона 414 п. н.

Праймер	Нуклеотидная последовательность праймера	Маркерный ампликон
Ppd-D1_F (прямой)	5'-ACGCCTCCCACTACACTG-3'	–
Ppd-D1_R1	5'-TGTTGGTTCAAACAGAGAGC-3'	414 п. н.
Ppd-D1_R2	5'-CACTGGTGGTAGCTGAGATT-3'	288 п. н.

Содержание реакционной смеси объемом 20 мкл для проведения STS-анализа: 50мМ KCl; 20 мМ трис — HCl, pH 9,0; 1,5 мМ MgCl₂; 0,01 % твин — 20; 0,15 мМ каждого dNTP; 0,2 мкМ каждого праймера; 10–20 нг ДНК; 1 од. Taq — полимеразы; 5 пкМ праймера Ppd-D1_F и по 2,5 пкМ праймеров Ppd-D1_R1 и Ppd-D1_R2. Для предотвращения испарения реакционной смеси использовали по 20 мкл минерального масла. Для проведения амплификации использовали амплификатор «Терцик» («ДНК-технология», Россия). Продукты амплификации фракционировали в 10 % полиакриламидном геле и их визуализацию в ПААГ проводили окрашиванием 0,012 М AgNO₃. Молекулярную массу продуктов амплификации определяли относительно маркеров pUC18/MspI с помощью компьютерной программы «Image Master 1D Elite» (Amersham Pharmacia Biotech, USA).

Результаты и обсуждение. Сопоставление продолжительности периода до колошения 11 сортов разного географического происхождения позволяет утверждать достоверность различий генотипов изученной выборки по указанному признаку в условиях удлиненного и укороченного дней как после 40-суточной яровизации, так и в варианте без яровизации (табл. 1).

В условиях удлиненного дня после 40-суточной яровизации колошение сортов отмечали на 41,6 (Афина) — 78,1 суток (Demir 2000). В контрольном варианте без яровизации при данной продолжительности дня колошение сортов, как и ожидалось, отмечали на 2,1–37,5 суток позже по сравнению с вариантом 40-суточной яровизации на 46,8 (Соломия) — 89,9 (Паллада) суток. Два сорта Шестопаловка и Demir 2000 не колосились в варианте без яровизации в условиях удлиненного дня. Вместе с тем ранги сортов по продолжительности периода до колошения при

16-часовом фотопериоде между вариантами 40-суточной яровизации и без яровизации в значительной степени совпадают ($r=+0,75$).

Таблица 1

Продолжительность периода до колошения в условиях удлинённого (ДД) и укороченного (КД) дня после 40-суточной яровизации и без яровизации, фотопериодическая чувствительность ($d \pm S_d$) сортов-двуручек, сутки

Сорт	40 суток яровизации			Без яровизации		
	ДД	КД	$d \pm S_d$	ДД	КД	$d \pm S_d$
Афина	41,6	43,1	$1,5 \pm 0,52$	65,1	76,5	$11,4 \pm 2,38$
Зимоярка	50,8	59,8	$9,0 \pm 1,72$	56,3	96,4	$40,1 \pm 1,88$
Ласточка	46,7	56,3	$9,6 \pm 2,16$	68,0	97,5	$29,5 \pm 0,05$
Паллада	52,4	51,3	$-1,1 \pm 0,95$	89,9	88,4	$-1,5 \pm 3,48$
Соломия	44,7	44,7	$0,0 \pm 1,99$	46,8	53,0	$6,2 \pm 0,25$
Хуторянка	43,6	54,9	$11,3 \pm 1,58$	53,3	80,7	$27,4 \pm 3,79$
Яра	44,9	45,5	$0,6 \pm 0,87$	71,6	86,8	$15,2 \pm 2,47$
L 897 Я 23	42,0	45,2	$3,2 \pm 0,68$	64,0	69,9	$5,9 \pm 2,36$
Лин. Миронов. 808- <i>Vrn-B1a</i>	55,2	94,4	$39,2 \pm 2,43$	85,4	н/к*	–
Шестопаловка	56,6	65,4	$8,8 \pm 3,31$	н/к	н/к	–
Demir 2000	78,1	76,3	$-1,8 \pm 5,05$	н/к	н/к	–
НСР _{0,05}	4,5	4,4	–	5,8	6,6	–

Примечание: * — растения в данном варианте не колосились.

Сокращение продолжительности дня с 16 до 12 часов способствовало увеличению продолжительности периода до колошения сортов до 43,1 (Афина) — 94,4 (линия Мироновская 808-*Vrn-B1a*) суток после 40-суточной яровизации и до 53,0 (Соломия) — 97,5 (Ласточка) и более суток в варианте без яровизации. Вместе с тем в последнем варианте растения линии Мироновская 808-*Vrn-B1a* и сортов Шестопаловка и Demir 2000 не колосились. Отсутствие колошения у линии Мироновская 808-*Vrn-B1a* в условиях укороченного дня является следствием сильной фотопериодической чувствительности, поскольку в условиях удлинённого дня без предварительной яровизации колошение данного генотипа отмечали на 85,4 суток. Сорта Шестопаловка и Demir 2000 являются озимыми, поскольку оба генотипа не колосились в условиях как удлинённого, так и укороченного дня при отсутствии предварительной яровизации. У сорта Паллада условия укороченного дня, наоборот, способствовали некоторому недостоверному ускорению развития на 1,1 и 1,5 суток при 40-суточной яровизации и при отсутствии яровизации соответственно. В целом корреляция продолжительности периода до колошения сортов между вариантами 16- и 12-часового дня как на фоне 40-суточной яровизации, так и без яровизации оказалась одинаковой ($r=+0,68$ и $r=+0,69$, соответственно). А уровень связи продолжительности периода до колошения в условиях укороченного дня между вариантом 40-суточной яровизации и вариантом без яровизации ана-

логічен ($r=+0,75$) такому, отмеченному выше для условий удлиненного дня.

По степени задержки колошения в условиях укороченного дня по сравнению с удлиненным (разница d — фотопериодическая чувствительность) сорта Афина, L 897 Я 23, Паллада, Соломия, Яра согласно принятой ранее классификации [15] могут быть охарактеризованы как слабочувствительные к фотопериоду генотипы. Данные сорта колосились в условиях укороченного дня с задержкой до 3,2 суток при 40-суточной яровизации и до 15,2 суток в варианте без яровизации. К данной группе сортов можно отнести также озимые сорта Шестопаловка и Demir 2000, различия между вариантами удлиненного и укороченного дня, у которых после 40-суточной яровизации составляли 8,8 и –1,8 суток соответственно. Именно такая задержка колошения под воздействием укороченного дня характерна для слабочувствительных к фотопериоду генотипов озимой пшеницы [16]. Сорта второй группы — Ласточка, Зимоярка, Хуторянка проявили сильную фотопериодическую чувствительность. Разница по продолжительности периода до колошения между вариантами удлиненного и укороченного дня указанных генотипов после 40-суточной яровизации составляла 9,0–11,3, а в варианте без яровизации — 27,4–40,1 суток. Данная величина сопоставима с таковой сильно фоточувствительной контрольной линии Мироновская 808-*Vrn-B1a*, задержка развития которой в условиях укороченного дня по сравнению с удлиненным после 40-суточной яровизации составляла 39,2 суток.

Фотопериодическая чувствительность (d) при 40-суточной яровизации и без яровизации в большей мере коррелирует ($r=+0,75$ и $r=+0,89$ соответственно) с продолжительностью периода до колошения в условиях укороченного дня и полностью отсутствует с таковой ($r=+0,02$) в условиях удлиненного дня при 40-суточной яровизации. В варианте без яровизации в условиях удлиненного дня большая фотопериодическая чувствительность ($r=+0,76$) присуща более поздно колосющимся сортам. В то же время оценки фотопериодической чувствительности на фоне 40-суточной яровизации и без яровизации оказались несколько разными ($r=+0,52$).

Гибридологический анализ полудидаллельных гибридов F_2 по фотопериодической чувствительности (рано : поздно колосящиеся растения) после 40-суточной яровизации в условиях 12-часового дня позволил установить генетические различия выявленных двух групп сортов-двуручек по реакции на сокращение продолжительности дня. Так, в F_2 популяциях от скрещивания сортов Зимоярка, Ласточка, Хуторянка и линии Мироновская 808-*Vrn-B1a* расщепление за темпами колошения отсутствовало (табл. 2). Все растения F_2 данных комбинаций скрещивания, за единичными исключениями, или колосились поздно или не переходили к колошению.

Таблица 2

Расщепление по фотопериодической чувствительности (рано : поздно колосящиеся потомки) F_2 популяций от скрещивания сортов-двуручек при выращивании после 40-суточной яровизации в условиях 12-часового дня

Отец Мать	М.	Л	С	Х	З.	Л	П.	Я	А	Д
Л	5:66	–	–	–	–	–	–	–	–	–
С	40:29	45:19*	–	–	–	–	–	–	–	–
Х	4:52	1:53	71:19*	–	–	–	–	–	–	–
З.	1:64	2:57	53:16*	0:70	–	–	–	–	–	–
Л	59:15*	67:14*	68:0	59:14*	49:14*	–	–	–	–	–
П.	62:18*	59:16*	75:0	52:15*	50:13	67:0	–	–	–	–
Я	65:16*	47:19*	72:0	65:11	45:15*	64:0	77:0	–	–	–
А	59:15*	58:18*	70:0	54:12*	44:23*	80:0	74:0	75:0	–	–
Д	54:18*	54:14*	50:0	53:15*	77:15*	60:0	66:0	80:0	62:0	–
Ш.	54:13*	41:18*	55:0	31:10*	54:14*	77:0	78:0	71:0	78:0	63:0

Примечание: М. — Мироновская 808-*Vrn-B1a*, Л — Ласточка, С — Соломия, Х — Хуторянка, З. — Зимоярка, Л — L 897 Я 23, П. — Паллада, Я — Яра, А — Афина, Д — Demir 2000, Ш. — Шестопаловка; * — $\chi^2_{3;1}$ меньше 3,84 для df=1 при P=0,05.

Наличие в F_2 популяциях от скрещивания сильночувствительных к фотопериоду сортов отдельных ранокососящихся в условиях укороченного дня растений может быть следствием различий изученных сортов по системе генов скороспелости *per se* или разными темпами роста в условиях низких положительных температур при 40-суточной яровизации или взаимодействием этих факторов [10]. Отсутствие расщепления в F_2 свидетельствует об идентичности генетического контроля фотопериодической чувствительности указанных генотипов, а наличие у каждого из них сильной реакции на сокращение продолжительности дня позволяет предположить, что сорта Ласточка, Хуторянка, Зимоярка, как и линия Мироновская 808-*Vrn-B1a*, являются носителями только рецессивных аллелей генов *Ppd-1*. В F_2 популяциях от скрещивания сортов второй группы — Афина, Паллада, Соломия, Шестопаловка, Яра, Demir 2000 и L 897 Я 23 расщепление по темпам колошения, как и у сортов первой группы, также отсутствовало. Однако в отличие от сортов первой группы все растения F_2 популяций каждой из комбинаций скрещивания сортов второй группы колосились рано. Наличие только ранокососящихся растений и отсутствие расщепления в F_2 по темпам развития обусловлено присутствием в генотипах всех сортов второй группы одного и того же доминантного гена *Ppd-1* фотопериодической чувствительности. В то же время расщепление в F_2 популяциях на рано / позднеколосящиеся растения в большинстве комбинаций от скрещивания четырех сортов первой и семи сортов второй группы достоверно соответствовало таковому при различиях родительских генотипов по одному гену. В комбинациях скрещивания Соломия/Мироновская 808-*Vrn-B1a*, Паллада/

Зимоярка, Афина/Зимоярка, Яра/Хуторянка расщепление по фотопериодической чувствительности не соответствовало теоретически ожидаемому. Вместе с тем наличие самого факта расщепления на рано- и поздноколосьящиеся растения может свидетельствовать о генетических различиях сортов по данному признаку. Следовательно, генетические различия по фотопериодической чувствительности между сортами первой (Ласточка, Хуторянка, Зимоярка, Мироновская 808-*Vrn-B1a*) и второй групп (Афина, Паллада, Соломия, Шестопаловка, Яра, Demir 2000 и L 897 Я 23) обусловлены различиями по аллелям одного гена ортологической серии *Ppd-1*.

Для идентификации сортов-двуручек по генам *Ppd-1* использовали маркеры ДНК. Поскольку ген *Ppd-A1a* отсутствует в генофонде озимой пшеницы Украины [17], а частоты доминантных аллелей гена *Ppd-B1* — минорные [18], то основное внимание было сконцентрировано на ДНК-анализе аллельных различий по гену *Ppd-D1*. При проведении ДНК-анализа, продукт амплификации 288 п. н. (рис.), характерный для доминантного гена *Ppd-D1a*, был выявлен у сортов Афина, L 897 Я 23, Паллада, Соломия, Яра, Шестопаловка и Demir 2000. Маркерный фрагмент 414 п. н. детектирован у сортов Ласточка, Зимоярка, Хуторянка и линии Мироновская 808-*Vrn-B1a*, что свидетельствует о наличии рецессивного аллеля *Ppd-D1b*.

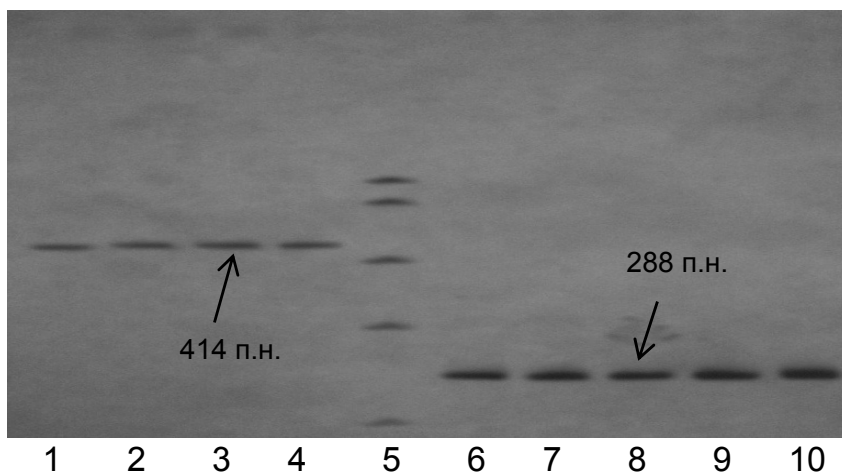


Рис. Электрофореграмма продуктов мультиплексной ПЦР, детектирующей аллельное состояние гена *Ppd-D1*: фрагмент 414 п. н. — аллель *Ppd-D1b*: 1 — Мироновская 808-*Vrn-B1a*; 2 — Хуторянка; 3 — Ласточка; 4 — Зимоярка; 5 — маркер молекулярной массы ρ UC19/*MspI*; фрагмент 288 п. н. — аллель *Ppd-D1a*: 6 — Афина; 7 — Demir 2000; 8 — L 897 Я 23; 9 — Паллада; 10 — Шестопаловка

Выводы. Таким образом, сорта Ласточка, Хуторянка, Зимоярка и линия Мироновская 808-*Vrn-B1a* являются сильночувствительными к фотопериоду генотипами и носителями только рецессивных аллелей трех генов ортологической серии *Ppd-1*. И с этой точки зрения указанные со-

рта соответствуют критериям «типичных двуручек». Для сортов Афина, Паллада, Соломия, Шестопаловка, Яра, Demir 2000, L 897 Я 23 характерна слабая реакция на сокращение продолжительности дня, которая обусловлена присутствием в их генотипе доминантного аллеля *Ppd-D1a*.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвиненко М. А. Корекція моделі сорту озимої м'якої пшениці універсального типу для умов Півдня України в зв'язку зі змінами клімату / М. А. Литвиненко // Вісник Білоцерківського державного аграрного університету. — 2008. — Вип. 52. — С. 18–25.
2. Базалій В. В. Характер формування та прояв зимостійкості гібридів і сортів пшениці м'якої озимої за умов південного Степу / В. В. Базалій, І. В. Бойчук, Д. В. Бабенко, Г. Г. Базалій // Таврійський науковий вісник. — 2016. — Вип. 95. — С. 9–15.
3. Скрипчинский В. В. Биология и хозяйственная ценность двуручек / В. В. Скрипчинский. — М.: Россельхозиздат, 1972. — 119 с.
4. Симинел В. Д. Закономерности формирования пшениц-двуручек / В. Д. Симинел. — Кишинев: Штиинца, 1975. — 241 с.
5. Ригин Б. В. Яровой тип развития мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.): фенологический и генетический аспекты / Б. В. Ригин // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. — 2012. — Т. 170. — С. 17–34.
6. Стельмах А. Ф. О генетической природе типичных двуручек мягкой пшеницы / А. Ф. Стельмах // Сельскохозяйственная биология. — 1986. — № 2. — С. 22–29.
7. Беспалова Л. А. Фотопериодическая чувствительность и молекулярное маркирование генов *Ppd* и *Vrn* в связи с селекцией сортов пшеницы альтернативного образа жизни / Л. А. Беспалова, В. А. Кошкин, Е. К. Потокينا [и др.] // Доклады РАСХН. — 2010. — № 6. — С. 3–6.
8. Филобок В. А. Создание адаптированного генофонда альтернативного образа жизни мягкой пшеницы / В. А. Филобок, Е. А. Гуенкова, Л. А. Беспалова [и др.] // Зерновое хозяйство России. — 2016. — № 1. — С. 38–42.
9. Базалій В. В. Вивчення і використання в селекції озимої пшениці вихідного матеріалу сербської селекції в умовах посушливого степу Півдня України / В. В. Базалій, С. Я. Плоткин, С. М. Бабенко [та ін.] // Бюл. Нікітського ботанічного саду. — 2009. — Вип. 99. — С. 52–56.
10. Файт В. І. Ідентифікація *Ppd* генотипів деяких сортів озимої м'якої пшениці / В. І. Файт, А. Ф. Стельмах // Агроекологія і біотехнологія. — 1998. — Вип. 2. — С. 189–194.
11. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. — М.: Колос, 1973. — 327 с.
12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. — М.: Колос, 1973. — 336 с.
13. Beales J. Pseudo-response regulator is misexpressed in the photoperiod insensitive *Ppd-D1a* mutant of wheat (*Triticum aestivum* L.) / J. Beales, A. Turner, S. Griffiths [et al.] // Theoretical and Applied Genetics. — 2007. — 115. — P. 721–733.
14. Использование ПЦР-анализа в генетико-селекционных исследованиях / под ред. Сиволапа Ю. М. — К.: Аграрна наука, 1998. — С. 34–40.

15. Файт В. И. Генетический контроль типа и скорости развития яровой пшеницы Западной Сибири. Сообщение 3. Реакция на фотопериод / В. И. Файт, А. Ф. Стельмах // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. — 1993. — № 3. — С. 42–48.
16. Файт В. І. Фотоперіодична чутливість та яровизаційна потреба сучасних сортів озимої м'якої пшениці селекції СГІ / В. І. Файт, В. Р. Мартинюк // Зб. наук. праць СГІ–НЦНС. — 2002. — № 2. — С. 30–36.
17. Muterko A. Discovery, evaluation and distribution of haplotypes and new alleles of the *Photoperiod-A1* gene in wheat / A. Muterko, R. Kalendar, J. Cockram, I. Balashova // Plant Mol. Biol. — 2015. — V. 88. — P. 149–164.
18. Балашова І. А. Розробка ДНК-технологій ідентифікації генів ортологічної серії *Ppd-1* м'якої і твердої пшениць / І. А. Балашова, В. І. Файт // Сільськогосподарська біотехнологія: теоретичні розробки і впровадження в селекцію рослин. — Одеса: Астропринт, 2016. — С. 9–19.

Надійшла 21.12.2016

UDC 633.11: 575.16

Fayt V. I.¹, Hubich O. Yu.², Balashova I. A.¹ ¹Plant Breeding and Genetics Institute — National Center of Seed and Cultivar Investigations, ²Odesa State Agrarian University

DIFFERENCES OF ALTERNATIVE VARIETIES OF BREAD WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) FOR THE GENES *Ppd-1* PHOTOPERIODIC SENSITIVITY

The article discusses the results of studying the response to photoperiod, genetic control of photoperiodic sensitivity of 11 alternative varieties of bread wheat. It is shown that grades Zimoyarka, Lastochka, Hutoryanka and line Mironivska 808-*Vrn-B1a* are very sensitive to photoperiod and possess only recessive alleles of the gene *Ppd-1*. Cultivars Athena, Pallada, Solomia, Shestopalovka, Yara, Demir 2000 and L897Я23 react poorly to the shortening of the day due to the presence in their genotype of the dominant allele *Ppd-D1a*.

УДК 633.11: 575.16

Файт В. І.¹, Губич О. Ю.², Балашова І. А.¹ ¹Селекційно-генетичний інститут — Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, ²Одеський державний аграрний університет

ВІДМІННОСТІ СОРТІВ-ДВОРУЧОК ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ЗА ГЕНАМИ *Ppd-1* ФОТОПЕРІОДИЧНОЇ ЧУТЛИВОСТІ

Обговорюються результати вивчення реакції на фотоперіод, генетичного контролю фотоперіодичної чутливості 11 сортів-дворучок пшениці м'якої. Сорти Зимоярка, Ласточка, Хуторянка і лінія Миронівська 808-Vrn-B1a сильночутливі до фотоперіоду і є носіями тільки рецесивних алелів генів *Ppd-1*. Сорти Афіна, Паллада, Соломія, Шестопалівка, Яра, Demir 2000 і L 897 Я 23 слабо реагують на скорочення тривалості дня внаслідок присутності у їхніх генотипах домінантного алеля *Ppd-D1a* і за даним показником не відповідають критеріям «типових» дворучок.

УДК 575.12:632.9

І. І. МОЦНИЙ, к. б. н., пров. наук. співроб.,
Л. В. СУДАРЧУК, м. н. с.,
О. І. РИБАЛКА, д. б. н., ст. наук. співроб., зав. від.,
СГІ–НЦНС, Одеса
e-mail: motsnyyii@gmail.com

ПОВЕДІНКА ХРОМОСОМ У МЕЙОЗІ ГІБРИДІВ F_1 ЛІНІЇ PAVON MA1 З СОРТОМ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) КУЯЛЬНИК

У лінії пшениці Pavon MA1, яка має пшенично-житню транслокацію $1BL.1RS_{mod}$ із модифікованим житнім плечем хромосоми, виявлено вірогідне зниження рівня кон'югації гомологічних хромосом, що спричиняє анеуплоїдію з частотою 5,3 %. Лінія не містить реципрокних міжгеномних транслокацій стосовно сорту Куяльник. У гібридів F_1 (Куяльник $\times$ Pavon MA1) спостерігається «гібридний десинапсис» — передчасне повне або часткове розходження бівалентів. При цьому серед 571 досліджених МКП не спостерігалось жодного випадку формування $21_{3''}$, що свідчило б про наявність кон'югації між короткими плечима транслокації $1BL.1RS_{mod}$ та інтактною хромосомою $1B$. Означені гібриди не є цитологічно стабільними; їхній мейотичний індекс варіював у межах 77,8–95,5 %.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., лінія Pavon MA1, транслокація $1BL.1RS_{mod}$, кон'югація хромосом, цитологічна стабільність.

Вступ. Досить значного поширення в селекційній практиці та виробництві зерна набули сорти з пшенично-житньою транслокацією $1BL.1RS$, яка нині є найпоширенішою з-поміж усіх пшенично-чужинних транслокацій. Її мають понад 1000 сортів світу (<http://www.rye-gene-map.de/rye-introgression/>). Донорами цієї транслокації для більшості комерційних сортів слугували російські сорти Аврора і Кавказ [1], а її коротке плече походить від німецького сорту озимого жита Petkus [2]. Вважається, що зазначені транслокації, завдяки присутнім у них генам *Pm8*, *Yr9*, *Lr26*, *Sr31*, *Dn2414*, забезпечують стійкість до низки хвороб та шкідників [3]. Однак більш суттєвим видається її позитивний вплив на потенційну зернову продуктивність та адаптивність пшениці [4; 5], зокрема в умовах та на генетичному тлі сортів степової зони Південно-Західного селекцентру [6], а також на потужність кореневої системи [7].

На жаль, і це широко відомо, транслокація $1BL.1RS$ має дуже негативні щодо якості хліба генетичні чинники [8]. Це специфічні запасні білки жита секаліни, які контролюються генним кластером *Sec-1* (тип пше-

ничних гліадинів — знаменитий алель *Gld1B3* [9] (*Gli-B1* [3]). Секаліни характеризуються високою розчинністю і майже повністю можуть переходити в розчин при замішуванні борошна з водою. В результаті катастрофічно знижується сила борошна (тісто пливе й липне, погано підходить) [10].

Для подолання цієї вади створена лінія з модифікованою пшенично-житньою транслокацією ($1BL.1RS_{mod}$), у якій замість житнього кластера *Sec-1* інтегровано пшеничний і, отже, в коротке плече транслокації перенесено дещо більш позитивні щодо якості гени пшениці, зокрема алель *Gld1B2* (*Gli-B1d*) [11].

Мета роботи — дослідження поведінки хромосом у мейозі в гібридів F_1 від схрещування пшениці м'якої озимої з лінією, що має модифіковану пшенично-житню транслокацію $1BL.1RS_{mod}$, на стадіях метафази (MI) і тетрад, порівняно з аналогічними показниками батьківських форм за 2014–2015 роки для визначення кон'югаційної спроможності означеної транслокації, щільності кон'югації гомологічних хромосом в MI, цитологічної стабільності гібридів та частоти анеуплоїдії.

Матеріал та методи дослідження. Як материнський компонент для схрещувань використовували чисту лінію, створену у відділі генетичних основ селекції СГ методом індивідуального добору з багатолінійного сорту Куяльник. Як запильник використовували лінію пшениці м'якої ярої Pavon MA1 (має пшенично-житню транслокацію $1BL.1RS_{mod}$) із модифікованим житнім плечем хромосоми походженням з джерела Кавказ/Аврора, у якій замість житнього локусу *Sec-1* в короткому плечі ($1RS$) присутній генний кластер *Gli-B1/Glu-B3* та два окремих інтеркалярних сегменти $1BS$ плеча пшеничної хромосоми. Модифікована транслокація створена доктором А. Лукашевським методом хромосомної інженерії із залученням *ph1b*-мутанта м'якої пшениці [11] та люб'язно надана д. б. н. О. І. Рибалці для ексклюзивного використання.

Цитологічні спостереження проводились у період 2014–2015 рр. Для дослідження мейозу матеріал фіксували у фіксаторі Карнуа (6:3:1) та забарвлювали 2 %-м розчином ацетокарміну після попередньої обробки 4 % залізо-амонійними галунами [12]. Вивчення хромосом і облік порушень регулярності мейозу виконували на тимчасових давлених препаратах. З кожного зразка дослідили від 3 до 19 рослин і не менш ніж 30 чітких метафазних пластинок на стадії MI та 228–643 тетрад на рослину. Для зіставлення числа порушень в MI із загальною кількістю порушень мейозу та оцінки корелятивних зв'язків між цитологічними ознаками облік метафаз і тетрад проводили в одній рослині.

Для зіставлення результатів спостережень, одержаних на матеріалі з різною спроможністю до кон'югації, застосовували інтегральні показники. При цьому число точок хромосомної асоціації (ТХА) на материнську клітину пилку (МКП) визначали з розрахунку, що кожне з'єднання двох пліч хромосом відповідає одній ТХА. Аналіз даних виконували після

відповідних переутворень з метою нормування відношення виявленого числа ТХА до максимально можливого ($maxTХА$) в кутовий коефіцієнт Фішера (ϕ) в радіанах за формулою [13]. Вважається, що ця величина має близький до нормального розподіл і, отже, підлягає застосуванню параметричних методів статистичної обробки даних [14]. Крім ϕ , детальному дослідженню підлягали: 1) число унівалентів на МКП — ознака, що безпосередньо призводить до анеуплоїдії; 2) відсоток нормальних тетрад (мейотичний індекс); 3) число мікроядер на тетраду — ознаки, що були критеріями мейотичної стабільності в цілому. Статистичну обробку результатів дослідження проводили методом двофакторного дисперсійного аналізу. Вірогідність різниці між середніми значеннями визначали за допомогою довірчого інтервалу 95 % рівня значимості ($\pm t_{0,05} \times$ стандартна похибка), який і наводиться в таблицях і тексті статті.

Результати та їх обговорення. Шляхом зіставлення статистичних показників щільності кон'югації гомологічних хромосом в МІ визначено вплив пшенично-житньої транслокації із модифікованим житнім плечем хромосоми на рівень кон'югації хромосом пшениці у досліджених гібридів F_1 . У батьківської лінії пшениці м'якої ярої Ravon MA1 (має пшенично-житню транслокацію 1BL.1RS_{mod} із модифікованим житнім плечем хромосоми) виявлено мінімальне, але вірогідне зниження рівня кон'югації (в середньому $\phi=2,713\pm0,041$ на МКП) порівняно з другим батьком — сортом пшениці м'якої озимої Куяльник (в середньому $\phi=2,854\pm0,041$), що проявилось у незначному підвищенні частоти утворення унівалентів і більш значному підвищенні частоти відкритих бівалентів (табл. 1). Це може зумовлюватися генетичними причинами — як частковою залишковою гетерозиготністю рослин лінії Ravon MA1 внаслідок неповного відновлення генофону вихідного сорту Ravon, так і присутністю транслокації. Наявність унівалентів у МІ спричиняє анеуплоїдію серед потомків лінії, хоча і з низькою частотою (5,3 %). Так, серед 19 цитологічно вивчених на різних стадіях рослин F_1 (Куяльник $\times$ Ravon MA1) знайдено 18 еуплоїдних ($2n=42$; 21^{II} ; рис. 1 а) та одна анеуплоїдна рослина з моносомією за однією із пшеничних хромосом ($2n=41$; $20^{II}+1^I$; рис. 1 б). Отже, частота життєздатних анеуплоїдних чоловічих гамет у лінії Ravon MA1 складає $5,3\pm10,1$ %. Очевидно, що частота життєздатних анеуплоїдних яйцеклітин значно вища.

У гібридів F_1 спостерігалось вірогідне зниження рівня кон'югації гомологічних хромосом (табл.1), спричинене, очевидно, значною гетерозиготністю гібридів, половина геному яких представлена хромосомами ярого сорту Ravon, інша половина — хромосомами озимого сорту Куяльник, а також присутністю транслокації 1BL.1RS_{mod} в гетерозиготному стані. Це зниження відбувається шляхом передчасного повного або часткового розходження бівалентів («гібридний десинапсис» [15]). У результаті чого утворюються уніваленти (рис. 1 в) або відкриті біваленти (рис. 1 б, в), що зумовлює зниження середніх значень числа ТХА/МКП порівняно

з теоретично очікуваними для еуплоїдних рослин 41 ТХА. В цілому зазначений ефект досить сильний (табл. 1) і призводить до суттєвого збільшення кількості унівалентів (в середньому, порівняно з сортом Куяльник, на $1,1 \pm 0,1$ на МКП), а також частоти відкритих бівалентів (в середньому на $2,4 \pm 0,1$ на МКП). В той же час відмінності між F_1 та лінією Pavon MA1 не настільки значні, хоча тенденція проглядається досить чітко (рис. 2).

Таблиця 1

Цитологічна характеристика вивченого матеріалу на стадії першої метафази мейозу (в середньому на клітину)

Лінія / гібрид-на комбінація	Хромосомні асоціації					Інтегральні показники		
	I	II			III	IV	ТХА*	Φ^*
		відкритих	закритих	всього				
Куяльник 4; 128**	$0,1 \pm 0,1$ (0–2) #	$1,3 \pm 0,2$ (0–5)	$19,7 \pm 0,2$ (16–21)	$20,9 \pm 0,1$ (20–21)	0,0	0,0	$40,6 \pm 0,3$ (36–42)	$2,854 \pm 0,041$ (2,366–3,142)
Pavon MA1 3; 91	$0,3 \pm 0,2$ (0–4)	$2,0 \pm 0,3$ (0–8)	$18,9 \pm 0,3$ (13–21)	$20,1 \pm 0,1$ (19–21)	0,0	0,0	$39,7 \pm 0,4$ (34–42)	$2,713 \pm 0,041$ (2,238–3,141)
K × P MA1 $2n=42$ 18; 571	$1,2 \pm 0,1$ (0–8)	$3,7 \pm 0,1$ (0–10)	$16,8 \pm 0,1$ (10–22)	$20,4 \pm 0,1$ (17–22)	0,0	0,0	$37,2 \pm 0,2$ (29–41)	$2,488 \pm 0,013$ (1,961–2,832)
K × P MA1 $2n=41$ 1; 27	$1,6 \pm 0,6$ (0–4)	$3,7 \pm 0,7$ (2–8)	$16,5 \pm 0,6$ (12–19)	$20,2 \pm 0,3$ (19–21)	0,0	0,0	$36,7 \pm 0,7$ (32–40)	$2,496 \pm 0,057$ (2,166–2,828)

Примітка: * ТХА — точки хромосомної асоціації; Φ — переутворене з метою нормування відношення виявленого числа ТХА до максимально можливого за формулою Фішера [14]; ** — досліджено рослин, клітин; # — в дужках зазначений розмах варіації.

Вважається, що гомозиготні лінії з транслокаціями є, переважно, цитологічно стабільними та характеризуються високою щільністю кон'югації хромосом [16; 17]. В літературі є свідчення про порушення бівалентної кон'югації гомологічних хромосом у їхніх гібридів F_1 з іншими сортами пшениці, в каріотипі яких транслокація знаходиться в гетерозиготному стані. При цьому, в залежності від розміру чужинного сегмента, ступеня його гомології хромосомам пшениці та генотипу сорту, залученого в схрещування, за даними різних авторів, спостерігалось від 47,5 до 85,3 % МКП з нормальною кон'югацією (21^n) [18; 2; 19]. В інших клітинах зустрічались уніваленти (як правило, від 2 до 4, зрідка до 6 в МКП) [2].

Серед ліній з пшенично-пирійними транслокаціями розмах середніх значень числа унівалентів на МКП складав $0,12$ – $2,84$ [17]. У нашому дослідженні у лінії Pavon MA1 уніваленти спостерігались у $12,1 \pm 6,7$ % МКП, головним чином у кількості 2 на МКП. Лише $1,1 \pm 2,1$ % МКП мали

4 уніваленти; клітин з більшим числом унівалентів не виявляли. У еуплоїдних гібридів F_1 частота МКП з 2 унівалентами складала $48,2 \pm 4,1$ %, з 4 унівалентами — $7,7 \pm 2,2$ %, зустрічались клітини з 6 і 8 унівалентами. У батьківського сорту Куяльник у $93,0 \pm 2,3$ % МКП спостерігався 21 бівалент (рис. 1 г).

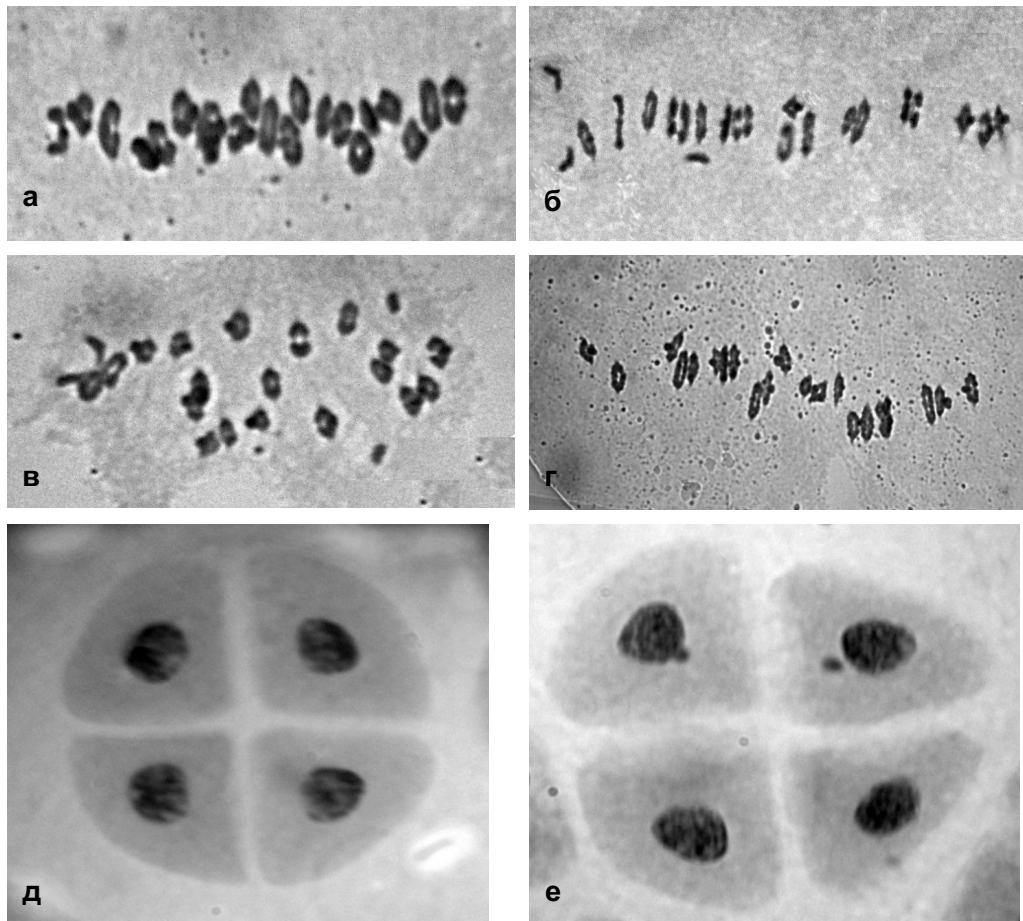


Рис. 1. Хромосомні пластинки на стадії MI, тетради мейозу у досліджених гібридних та батьківських рослин (590 $\times$): а) еуплоїдна гібридна рослина з транслокацією 1BL. 1RS_{mod} в гетерозиготному стані ($2n=42$; $20_3^{II} + 1_B^{II}$); б) анеуплоїдна гібридна рослина з моносомією за однією із пшеничних хромосом ($2n=41$; $20^{II} + 1^I$); в) еуплоїдна гібридна рослина, клітина з унівалентами ($2n=42$; $20^{II} + 2^I$); г) рослина сорту Куяльник, клітина з вищою асоціацією хромосом ($2n=42$; 21_3^{II}); д) нормальна тетрада без мікроядер; е) тетрада з двома мікроядрами

Слід особливо підкреслити, що відсутність мультівалентів у гібридів F_1 , одержаних від схрещування Куяльник $\times$ Равон МА1 (табл. 1), свідчить про відсутність реципрокних міжгеномних транслокацій у батьківських форм, у всякому разі — стосовно один до одного [17]. У першу чергу це важливо для лінії Равон МА1, зважаючи на складний характер її одержання [11].

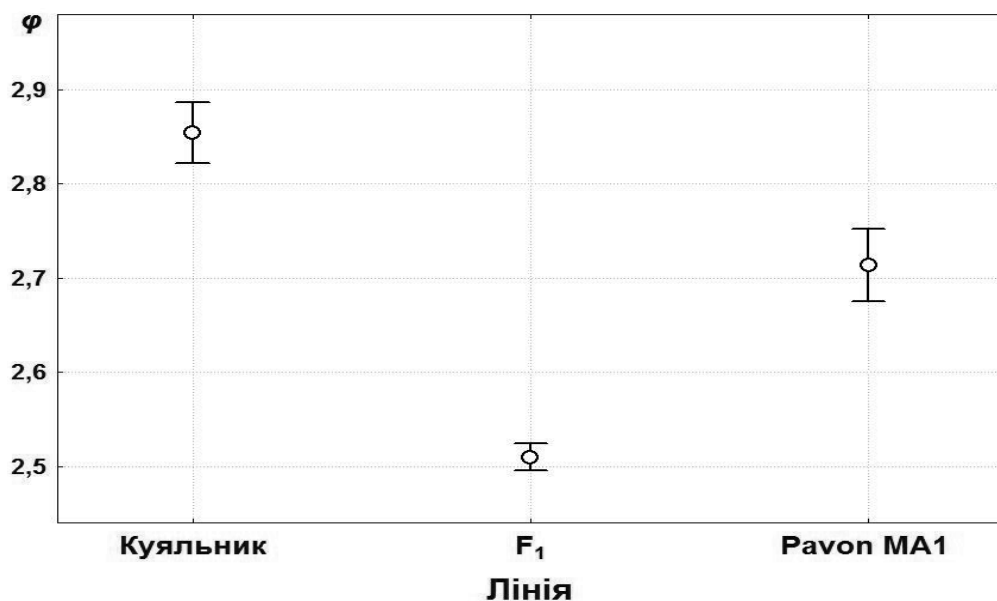


Рис. 2. Рівень кон'югації хромосом (φ) у сорту Куяльник, лінії Pavon MA1 та їхніх гібридів F₁,

Виникнення природної рекомбінації між гомеологічними хромосомами жита і пшениці, за відсутності пригнічення активності 5В хромосоми, в науковій літературі вважається неможливим, оскільки, незважаючи на деяку генетичну спорідненість, цитологічно вони занадто різномірні і між ними ніколи не відбувається кон'югація [20–23, Zeller 2016 (особисте повідомлення)]. Поодинокі випадки, де можна припустити кон'югацію між короткими плечима немодифікованої транслокації 1BL.1RS та інтактною хромосоми 1В (у гібридів F₁ з частотою 0,3 % формувалось 21₃^{II} у вигляді вищої асоціації хромосом [24]), очевидно є результатом супресії системи *Ph*-генів у цих гібридних рослин внаслідок фізіологічних причин.

Оскільки модифікована транслокація А. Лукашевського має 2 невеликих пшеничних сегменти в короткому плечі, вона напевно спроможна кон'югувати з хромосомою 1В короткими плечима. До того ж за допомогою молекулярних маркерів нами були віднайдені рекомбінанти — похідні кросинговеру між цими плечима [25]. Однак у нашому дослідженні серед 571 вивчених МКП не спостерігалось жодного випадку формування 21₃^{II}, що гарантовано свідчило б про можливість кон'югації між короткими плечима транслокації 1BL.1RS_{mod} та інтактною хромосоми 1В; вищою асоціацією хромосом в МІ мейозу у еуплоїдних рослин було 20₃^{II} + 1_В^{II} (рис. 1 а). Можливо випадки такої кон'югації маскуються відкритими бівалентами, сформованими іншими гомологічними хромосомами. Отже, в даному конкретному випадку більш коректно вихідні лінії і гібриди F₁ порівнювати саме за величиною φ (рис. 2), а не середнім значенням ТХА/МКП (табл. 1). Хоча вони мають однакове число хромосом (2n=42), але відрізняються за вищою асоціацією хромосом (ВАХ) в МІ мейозу і відпо-

відно значеннями $maxTXA$. У батьківських форм $BAX=21_3^{II}$ ($maxTXA=42$), а у F_1 $BAX=20_3^{II} + 1_B^{II}$ ($maxTXA=41$).

Відомо, що стадія тетради мікроспор служить показником загальної нестабільності мейозу [16]. Відсталі хромосоми або їхні фрагменти, якщо вони залишаються в цитоплазмі до закінчення другого поділу мейозу, можуть утворювати мікроядра, точну кількість яких легко визначити перед розпадом тетрад на мікроспори (рис. 1 д, е). Дослідження цитологічної стабільності ліній на стадії тетрад виявило незначне підвищення середніх значень частот мікроядер у тетрадах у лінії Ravon MA1 порівняно з сортом Куяльник (табл. 2). У еуплоїдних гібридів F_1 порушення чіткіше виражені, що є наслідком підвищеної частоти унівалентів в МІ (табл. 1), однак ці показники вірогідно варіювали в залежності від індивідуальних особливостей гібридних рослин ($F=6,6$ при $p<0,001$), хоча і не залежали від умов року ($F=0,05$ при $p=0,82$). Таке формування, а в подальшому елімінація мікроядер, в кінцевому результаті, призводить до виникнення анеуплоїдних гамет. В цілому частота аномальних тетрад (від $4,5\pm 2,1$ до $22,2\pm 3,2$ %) була досить високою. Як правило, формувалось лише 1–3 (інколи 4–5 і максимум до 6–7) мікроядер в тетрадах (рис. 1 е).

Визначення частоти і кількості мікроядер у тетрадах особливо актуальне щодо матеріалу, перспективного для використання в селекційній практиці. Високий відсоток нормальних тетрад (тобто тетрад без мікроядер, рис. 1 д) — мейотичний індекс [26] служить доказом нормального перебігу мейозу. Вважається, що мейотичний індекс 90–100 % відображає цитологічну стабільність, тоді як при значеннях нижче 90 % можуть виникати труднощі при залученні такого матеріалу в селекційні програми. Отже, лінію Ravon MA1, а тим більше сорт Куяльник, можна вважати цитологічно стабільними, тоді як гібриди F_1 — ні.

Відомо, що між щільністю кон'югації в МІ та мейотичним індексом існує вірогідна позитивна кореляція [27], що вважається свідченням подальшого негативного впливу десинапсису на весь перебіг мейозу. Справді, при обрахуванні всього масиву даних нами виявлена високовірогідна кореляція між показниками рівня кон'югації гомологічних хромосом в МІ (TXA/MKP , ϕ), з однієї сторони, та мейотичним індексом ($r=0,81$ при $p<0,001$; $r=0,82$ при $p<0,001$ відповідно) і середнім числом мікроядер на тетраду ($r=-0,74$ при $p<0,001$; $r=-0,75$ при $p<0,001$ відповідно), з іншої (табл. 3), величина якої перевершує літературні дані, одержані при дослідженні цитологічної стабільності ліній тритикале [27; 13].

Дещо нижча кореляція між частотою унівалентів в МІ і характеристиками загальної мейотичної нестабільності на стадії тетрад (табл. 3), очевидно, зумовлена не абсолютним внеском частоти унівалентів у варіацію інтегральних показників, що характеризують рівень кон'югації гомологічних хромосом (TXA/MKP переутворене в ϕ) в МІ мейозу (табл. 1), яка визначається, крім того, частотою відкритих бівалентів.

Таблиця 2

Характер порушень на стадії тетрад у батьківських форм та еуплоїдних гібридів

$$F_1 (\bar{x} \pm t_{0,05} S_{\bar{x}})$$

Лінія / гібридна комбінація	Досліджено, шт.		% нормальних тетрад	Мікроядер на тетраду, шт.
	рослин	клітин		
Куяльник	4	1396	98,1±0,7	0,03±0,01 (0–4)*
Pavon MA1	3	1476	94,6±1,1	0,09±0,02 (0–4)
F ₁ Куяльник × Pavon MA1	1	228	87,7±4,3	0,27±0,10
	1	359	83,6±3,8	0,38±0,10
	1	619	80,8±3,1	0,44±0,08
	1	254	82,7±4,7	0,38±0,12
	1	377	95,5±2,1	0,08±0,04
	1	643	77,8±3,2	0,53±0,10
	1	597	80,4±3,2	0,45±0,09
	1	133	90,2±5,1	0,20±0,12
	1	252	79,4±5,0	0,47±0,13
	1	308	80,9±4,4	0,41±0,11
	1	494	80,9±3,5	0,43±0,09
	1	346	80,9±4,1	0,38±0,10
Σ по F ₁	12	4610	82,4±1,1	0,40±0,03 (0–7)

Примітка: * — в дужках зазначено розмах варіації.

Таблиця 3

Корелятивні зв'язки між показниками кон'югації хромосом в МІ та характеристиками загальної мейотичної нестабільності в тетрадах (n=18)

Пари ознак	Мейотичний індекс (% тетрад без мікроядер)	Число мікроядер на тетраду
Частота унівалентів	–0,722**	0,664*
Частота ТХА/МКП	0,808***	–0,744***
φ	0,822***	–0,751***

Примітка: * — вірогідно при p<0,05; ** — вірогідно при p<0,01; *** — вірогідно при p<0,001.

Висновки. У лінії пшениці Pavon MA1 виявлено вірогідне зниження рівня кон'югації, що проявилось у підвищенні частоти утворення унівалентів і відкритих бівалентів та спричиняє анеуплоїдію. Життєздатні анеуплоїдні чоловічі гамети у лінії формувались з частотою 5,3 %. Незважаючи на складний характер одержання лінії Pavon MA1, вона не містить реципрокних міжгеномних транслокацій стосовно сорту Куяльник. У гібридів F₁ (Куяльник × Pavon MA1) спостерігається «гібридний десинапсис» — вірогідне зниження рівня кон'югації гомологічних хромосом шляхом передчасного повного або часткового розходження бівалентів. При цьому серед 571 досліджених МКП не спостерігалось жодного випадку

формування 21_3^{II} , що свідчило б про наявність кон'югації між короткими плечими транслокації 1BL. 1RS_{mod} та інтактною хромосоми 1В; вищою асоціацією хромосом в метафазі I мейозу в еуплоїдних гібридних рослин F_1 було $20_3^{II} + 1_B^{II}$.

На відміну від лінії Pavon MA1 її гібриди F_1 з м'якою пшеницею не є цитологічно стабільними. Їхній мейотичний індекс варіював у межах 77,8–95,5 % і, отже, частота аномальних тетрад була досить високою; однак ці показники вірогідно варіювали в залежності від індивідуальних особливостей гібридної рослини і не залежали від умов року. Між показниками рівня кон'югації гомологічних хромосом в метафазі I, з однієї сторони, та характеристиками загальної мейотичної нестабільності на стадії тетрад, з іншої, існує вірогідна кореляція, що свідчить про негативний вплив десинапсиса в MI на весь подальший процес мейозу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Rabinovich S. V. Importance of wheat-rye translocations for breeding modern cultivars of *Triticum aestivum* L. / S. V. Rabinovich // Euphytica. — 1998. — Vol. 100 (1). — P. 323–340.
2. Zeller F. J. 1B/1R wheat-rye chromosome substitutions and translocations / F. J. Zeller // Proc. 4th Int. Wheat Genet. Symp. — Columbia (USA), 1973. — P. 209–221.
3. Catalogue of gene symbols for wheat / R. A. McIntosh, Y. Yamazaki, J. Dubcovsky [et al.] // 12th Int. Wheat Genet. Symp., Yokohama (Japan), 8–13 September 2013 : proc. / KOMUGI, Wheat Genetic Resources Database [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/macgene/2013/GeneSymbol.pdf>.
4. Villareal R. L. The effect of chromosome 1B/1R translocation on the yield potential of certain spring wheats (*Triticum aestivum* L.) / R. L. Villareal, S. Rajaram, A. Mujeeb-Kazi, E. Del-Toro // Plant Breed. — 1991. — V. 106. — P. 77–81.
5. The 1BL/1RS translocation: agronomic performance of F_3 -derived line from a winter wheat cross / B. Moreno-Sevilla, P. S. Baenzinger, C. J. Peterson [et al.] // Crop. Sci. — 1995. — V. 35, № 4. — P. 1051–1055.
6. Топал М. М. Селекційна цінність генотипів пшениці м'якої озимої із пшенично-житніми транслокаціями 1BL/1RS, 1AL/1RS в умовах Півдня України: дис. ... канд. с.-г. наук : спец. 06.01.05 «Селекція і насінництво» / Топал Микола Миколайович. — Одеса: СГІ–НЦНС, 2015. — 167 с.
7. Integrated genetic map and genetic analysis of a region associated with root traits on the short arm of rye chromosome 1 in bread wheat / S. Sharma, P. R. Bhat, B. Ehdaie [et al.] // Theor. Appl. Genet. — 2009. — V. 119, № 5. — P. 783–793.
8. Литвиненко М. А. Ефекти пшенично-житніх транслокацій 1AL/1RS і 1BL/1RS на якість зерна у сортів пшениці м'якої озимої / М. А. Литвиненко, М. М. Топал // ScienceRise: Scientific Journal. — 2015. — № 3 (8). — С. 82–87.
9. Попереля Ф. А. Электрофорез глиадины как метод идентификации пшениц, у которых 1В-хромосома полностью или частично замещена 1R-хромосомой ржи / Ф. А. Попереля, А. А. Созинов // Доклады ВАСХНИЛ. — 1977. — № 2. — С. 2–4.

10. Рибалка О. І. Генетичне поліпшення якості пшениці : автореф. дис. ... д. б. н. : спец. 03.00.15 «Генетика» / Рибалка Олександр Ілліч. — Одеса: СГІ–НЦНС, 2009. — 44 с.
11. Lukaszewski A. Manipulation of the 1BL. 1RS translocation in wheat by induced homoologous recombination // Crop. Sci. — 2000. — V. 40, № 1. — P. 216–225.
12. Паушева Э. П. Практикум по цитологии растений / Э. П. Паушева. — М.: Колос, 1980. — 304 с.
13. Моцний І. І. Цитогенетична характеристика нових зразків озимого тритикале з підвищеними адаптивними властивостями / І. І. Моцний, О. І. Рибалка, Д. В. Аксельруд // Зб. наук. праць СГІ–НАЦ НАНС. — Одеса, 2007. — Вип. 9 (49). — С. 31–46.
14. Лакин Г. Ф. Биометрия: учебное пособие для университетов и педагогических институтов / Г. Ф. Лакин. — М.: Высшая школа, 1973. — 343 с.
15. Mettin D. The monosomic analysis of the genes for «hybrid desynapsis» in common wheat / D. Mettin, G. Kimber // Proc. 6th Int. Wheat Genet. Symp. — Kyoto (Japan), 1983. — P. 315–319.
16. Моррис Е. Р. Цитогенетика пшеницы и родственных форм / Е. Р. Моррис, Э. Р. Сирс // Пшеница и ее улучшение / под ред. М. М. Якубцинера, Н. П. Кузьминой, Л. Н. Любарского. — М.: Колос, 1970. — С. 33–102.
17. Ortiz L. T. Chromosomal structure of homozygous common wheat lines obtained from wheat x *Agropyron* x *Aegilops speltoides* derivatives. I. A screening of the reciprocal translocations / L. T. Ortiz, A. Gonzalez, M.-C. Chueca, Y. Cauderon // Can. J. Genet. Cytol. — 1986. — V. 28, № 1. — P. 69–75.
18. Riley R. The incorporation of alien disease resistance in wheat by genetic interference with the regulation of meiotic chromosome synapsis / R. Riley, V. Chapman, R. Johnson // Genet. Res. — 1968. — V. 12, № 2. — P. 199–219.
19. Mettin D. Additional evidence on spontaneous 1R/1B wheat-rye substitutions and translocations / D. Mettin, W. D. Bluthner, G. Schlegel // Proc. 4th Int. Wheat Genet. Symp. — Columbia (USA), 1973. — P. 179–184.
20. Riley R. The transfer of alien genetic variation to wheat / R. Riley, G. Kimber // Repts Plant Breed. Inst. 1964–1965. — Cambridge, 1966. — P. 6–36.
21. Lukaszewski A. J. Improvement of breadmaking quality of triticale through chromosome translocations / A. J. Lukaszewski // Proc. 4th Int. Triticale Symp., 26–31 July, 1990, Red Deer, Alberta (Canada) / International Triticale Assoc., 1998. — V. 1. — P. 102–110.
22. Рибалка О. Поставимо останню крапку в дискусії навколо тритикале сорту Житниця / О. Рибалка, М. Литвиненко, М. Червоніс, І. Топораш // Зерно і хліб. — 2007. — № 2 (46). — С. 35–37.
23. Моцний І. І. Идентификация и характеристика 1R(1B) замещенных линий мягкой пшеницы / И. И. Моцный, В. И. Файт, Е. М. Благодарова // Цитология и генетика. — 2009. — Т. 43, № 3. — С. 26–35.
24. Идентификация замещения (1B)1R и транслокации 1BL. 1RS у интрогрессивных линий озимой пшеницы цитологическим и молекулярно-генетическими методами / И. И. Моцный, С. В. Чеботарь, Л. В. Сударчук [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. — 2012. — Т. 16, № 1. — С. 217–223.
25. Сударчук Л. В. Детекція модифікованої транслокації 1BL. 1RS за допомогою молекулярних маркерів у селекційному матеріалі м'якої пшениці / Л. В. Су-

- дарчук, С. В. Чеботар, О. І. Рибалка, Ю. М. Сиволап // Вісник ОНУ. — 2010. — Т. 15, вип. 6. — С. 39–48.
26. Love R. M. Varietal differences in meiotic chromosome behavior of Brazilian wheat / R. M. Love // Agron. J. — 1951. — V. 43. — P. 72–76.
27. Федорова Т. Н. Особенности мейоза у 6х и 8х тритикале и фертильность растений / Т. Н. Федорова // Генетика. — 1987. — Т. 23, № 4. — С. 707–716.

Надійшла 20.10.2016

UDC 575.12 : 632.9

Motsny I. I., Sudarchuk L. V., Rybalka O. I. Plant Breeding and Genetics Institute — National Center of Seed and Cultivar investigations

INVESTIGATION OF CHROMOSOME BEHAVIOR IN MEIOSIS OF F_1 HYBRIDS BETWEEN THE LINE PAVON MA1 AND WINTER BREAD WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) CULTIVAR KUYAL'NIK

A significant decrease in the level of homologous chromosome pairing causing aneuploidy with a frequency of 5.3 % has been revealed in the wheat strain Pavon MA1, which has a modified wheat-rye translocation 1BL.1RS_{mod}. The strain does not contain any reciprocal intergenomic translocations with respect to the cultivar Kuyal'nik. The «hybrid desinapsis» — premature complete or partial disjunction of bivalents was observed in F_1 hybrids (Kuyal'nik × Pavon MA1). Moreover, any case of forming 21^{Closed} was not observed among 571 PMCs studied, that would indicate the presence of pairing between the short arms of the translocation and intact chromosomes 1B. The hybrids were not cytologically constant; their meiotic index ranged 77.8–95.5 %.

УДК 575.12 : 632.9

Моцный И. И., Сударчук Л. В., Рыбалка А. И. Селекционно-генетический институт — Национальный центр семеноведения и сортоизучения

ПОВЕДЕНИЕ ХРОМОСОМ В МЕЙОЗЕ ГИБРИДОВ F_1 ЛИНИИ PAVON MA1 С СОРТОМ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ ОЗИМОЙ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) КУЯЛЬНИК

У линии пшеницы Pavon MA1, которая имеет пшенично-ржаную транслокацию 1BL.1RS_{mod} с модифицированным ржаным плечом хромосомы, выявлено достоверное снижение уровня конъюгации гомологичных хромосом, вызывающее анеуплоидию с частотой 5,3 %. Линия не содержит реципрокных межгеномных транслокаций по отношению к сорту Куяльник. У гибридов F_1 (Куяльник × Pavon MA1) наблюдается

«гибридный десинапсис» — преждевременное полное или частичное расхождение бивалентов. При этом среди 571 исследованного МКП не наблюдалось ни одного случая формирования 21_{3}^{II} , что свидетельствовало бы о наличии конъюгации между короткими плечами транслокации $1BL.1RS_{mod}$ и интактной хромосомы 1В. Указанные гибриды не являются цитологически стабильными, их мейотический индекс варьировал в пределах 77,8–95,5 %.

УДК 576:606:631.1

М. С. БОЙКО¹, асп., інж.,

Г. О. ЧЕБОТАР², к. б. н., доц.,

І. І. МОЦНИЙ¹, к. б. н., ст. наук. співроб.,

О. Л. ШЕСТОПАЛ¹, к. б. н., ст. наук. співроб.,

С. В. ЧЕБОТАР^{1,2}, д. б. н., пров. наук. співроб., ст. наук. співроб., чл.-кор.
НААН, зав. каф.

¹СГІ–НЦНС, Одеса,

²ОНУ ім. І. І. Мечникова, Одеса

e-mail: karadras2@yandex.ru

ОСОБЛИВОСТІ АНДРОГЕНЕЗУ У ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ОДЕСЬКА 51 З АЛЕЛЕМ *Rht-B1e* КОРОТКОСТЕБЛОВОСТІ

*Розглянуто особливості андрогенезу in vitro у ліній пшениці м'якої озимої Одеська 51 та її короткостеблових аналогів різного ступеня насичування (BC₆₋₈). Дослідили вплив алельних відмінностей (*Rht-B1e* vs *Rht-B1a*) за локусом *Rht-B1* та ступеня відновлення генетичного фону рекурентної форми на гаплопродукційну спроможність мікроспор. На генетичному фоні сорту Одеська 51 алель *Rht-B1e* достовірно негативно впливав на показник «індукція новоутворень». Частота індукції була набагато вищою у генотипів з алелем *Rht-B1a*. Ступінь відновлення генетичного фону не мав істотного значення для варіації ознаки. Залежності показника «регенерація зелених рослин» від досліджених чинників (алельних відмінностей та ступеня відновлення генетичного фону) не виявлено.*

*Ключові слова: пшениця м'яка озима, андрогенез in vitro, короткостебловість, алель *Rht-B1e*, індукція новоутворень, регенерація рослин.*

Вступ. Пшениця м'яка озима є найважливішою зерновою культурою в Україні. Вона займає великі посівні площі та має вагоме економічне значення як з точки зору кормовиробництва, так і для забезпечення харчування людини потрібною кількістю калорій та дефіцитного білка [1]. Тому надзвичайно важливою є робота зі створення нових сортів і ліній пшениці з оптимальними комбінаціями цінних ознак. Андрогенез *in vitro* — один з ефективних методів, що дозволяє швидко отримати гомозиготний матеріал. Але здатність до андрогенезу тісно пов'язана з генотипом і тому може мати значні відмінності у різних ліній пшениці. Цікавим для дослідження є взаємозв'язок показників ефективності біотехнологічного процесу, зокрема з наявністю у генотипі рослин тих чи інших генів короткостебловості (*Rht*).

Результати сучасних досліджень [2] дозволили зробити висновок, що гени короткостебловості пшениці відіграють суттєву роль в регулюванні процесів дедиференціації, проліферації, вторинної диференціації клітин та регенерації рослин. Гени *Rht* впливають на ріст і морфогенез калюсу [3]. Виявлено, що напрямок і сила впливу різних алелів, які належать до однієї генетичної системи і навіть до одного локусу, можуть значно різнитися. Як відомо [4], у м'якої пшениці на хромосомі 4В знаходяться гени, робота яких регулює утворення ембріодів. Ген *Rht-B1* — один із головних генів, що визначає висоту рослин пшениці, локалізований в короткому плечі саме цієї хромосоми [5]. Його алель *Rht-B1c* спричиняє погіршення ініціації і пасування калюсу, як і здатність до регенерації [6]. Проте, за даними інших авторів, він має позитивний вплив на більшість показників андрогенезу *in vitro*, а також соматичного ембріогенезу *in vitro* у м'якої пшениці [7].

Алель *Rht-B1e* зумовлює короткостебловість рослини, суттєво (на 30–40 %) вкорочуючи довжину міжвузловин [8] завдяки зниженню чутливості вегетативних та репродуктивних тканин до ендогенної гіберелової кислоти [9]. Це виявляється у зменшенні клітин майже всіх вегетативних органів [10] і супроводжується зниженням довжини колеоптиля та зменшенням площі листа. Щодо молекулярної структури, то в нуклеотидній послідовності алеля *Rht-B1e* присутня мутація (однонуклеотидна заміна А на Т), яка призводить до утворення стоп-кодона TAG з кодона AAG в 61 положенні, що на три кодони раніше за стоп-кодон, який зумовлюється мутацією *Rht-B1b* [11].

Характеризується означений алель також низкою плейотропних ефектів. В умовах посухи наявність алеля *Rht-B1e* на генетичному фоні сорту Одеська 51 призводила до вірогідного зменшення ознак, що характеризують розвиток і продуктивність головного колоса (кількість колосків та зерен у колосі, маса зерна з колоса, озерненість колоска, щільність колоса), кількості та маси зерен з рослини, а також маси тисячі зерен за незначного збільшення продуктивної кущистості та кількості зерен з підгонів [12; 13]. І навпаки, за сприятливих умов достатнього вологозабезпечення алель *Rht-B1e* забезпечував суттєве підвищення врожайності; короткостеблові лінії характеризувалися високою продуктивністю (на 7–50 % вищою, ніж рекурентна форма), стійкістю до вилягання, прийнятною морозостійкістю, але були занадто низькорослі (72–78 см) і сприйнятливі до хвороб [14; 15]. Підвищення урожайності здійснювалося, головним чином, за рахунок збільшення числа зерен у колосі і його елементів нижчих рівнів ієрархії (число колосків у колосі й озерненість колоска), що призвело до зростання продуктивності колоса (маси зерна з колоса) на 6–20 %. Однак автори одностайно зауважують істотне зниження основних показників якості: седиментації, сили борошна, вмісту клейковини тощо [14–16]. Вплив алеля на результативність культури пшениць *in vitro* не вивчався.

Отже, дослідження впливу різних генів системи *Rht*, зокрема різних алелів гена *Rht-B1*, на андрогенез *in vitro* є цікавим та важливим завданням з точки зору як прикладної генетики пшениці, так і біотехнології. Це дозволяє прогнозувати ймовірну ефективність культивування *in vitro* рослинних тканин на основі відомих особливостей генотипів сортів донорних рослин, що вводяться в культуру.

Мета та задачі. Метою роботи було визначення впливу різних алелів гена *Rht-B1* на перебіг процесу андрогенезу *in vitro*. Для досягнення цієї мети були поставлені наступні задачі: 1) провести ПЛР-аналіз для ідентифікації в генотипі досліджуваних ліній певних алелів гена *Rht-B1*; 2) визначити різницю між рекурентною формою та аналогами різного ступеня насичування за показниками гаплопродукції.

Матеріали та методи. Досліджували лінію пшениці м'якої озимої Одеська 51 (в подальшому Од.51) та три її короткостеблові аналоги (Од.51_{B₆}, Од.51_{B₇}, Од.51_{B₈}) різного ступеня насичування (відповідно BC₆, BC₇ і BC₈). В генотип аналогів *Rht-B1e* привнесений від сорту-донора ознаки — Одеська напівкарликова (ОНК). Сорти-аналоги створені у відділі загальної та молекулярної генетики СГІ–НЦНС шляхом схрещення (Од.51×ОНК)×Од.51^{6–8} F_∞. Всі досліджувані зразки — це чисті лінії, створені методом індивідуального добору. Теоретично у випадку безперервного насичування рівень відновлення генетичного фону рекурентного батька у них має складати 99,2, 99,6 і 99,8 % відповідно. Однак мікросателітний аналіз виявив лише 88,9 % подібності між аналогом Од.51_{B₆} та рекурентною лінією Од.51 [17], а дискримінантний аналіз — значну відмінність між ними за комплексом кількісних ознак (крім висоти рослин), тому насичування було продовжено до BC₈. Оскільки за комплексом ознак відмінності між BC₇ і BC₈ виявилися несуттєвими, було висловлено припущення про достатню кількість насичувань (BC₈) для створення майже ізогенної лінії [18].

Вилучали ДНК застосуванням буфера зі СТАВ, алель-специфічної ПЛР, електрофорезу у поліакриамідному гелі (ПААГ), фрагмент-аналізу на ALF-express генетичному аналізаторі, як це детально описано [17]. Алель *Rht-B1e* визначали за алель-специфічною ПЛР з двома парами праймерів («MR3», «BF» та «WR3», «BF»), розробленими в 2011 році [11] (рис. 1).

Для вивчення здатності до андрогенезу рослини вирощували в полі. Добирали колосся донорних рослин з пиляками, мікроспори яких знаходилися у середньопізній вакуолізованій стадії розвитку. Попередньо обробляли матеріал і стерилізували його за загальноприйнятою методикою [19]. Ізольовані пиляки висаджували на середовище 190–2 для індукції новоутворень [20] в модифікації [21]. Висаджені пиляки культивували перші три доби при температурі 30 °C, надалі — при 24 °C до появи новоутворень. Сформовані макроструктури культивували на модифікованому середовищі MS за 16-годинного фотоперіоду. Отримані зелені регенеранти пересаджували на безгормональне середовище MS і яровизували [19].



Рис. 1. Схема розташування праймерів до *Rht-B1e* алеля на нуклеотидній послідовності згідно з [11]

Гаплопродукційну здатність оцінювали за кількістю новоутворень на 100 висаджених пиляків і кількістю рослин-регенерантів на 100 отриманих новоутворень. Крім того, для визначення впливу вищезначених чинників застосовували метод дисперсійного аналізу [22]. Статистично обробили отримані дані у програмі STATISTICA 8.

Результати та обговорення. Проведена ПЛР на матриці геномної ДНК з використанням комбінації праймерів «WR3» та «BF» до алеля *Rht-B1a*, що характеризується продуктом ампліфікації розміром 228 п. н. При наявності алеля *Rht-B1e* в генотипі з цією парою праймерів продуктів ампліфікації не виявлено. У результаті ПЛР з використанням праймерів «MR3» та «BF» при наявності в генотипі алеля *Rht-B1e* детектуються фрагменти ампліфікації розміром 228 п. н. (рис. 2).

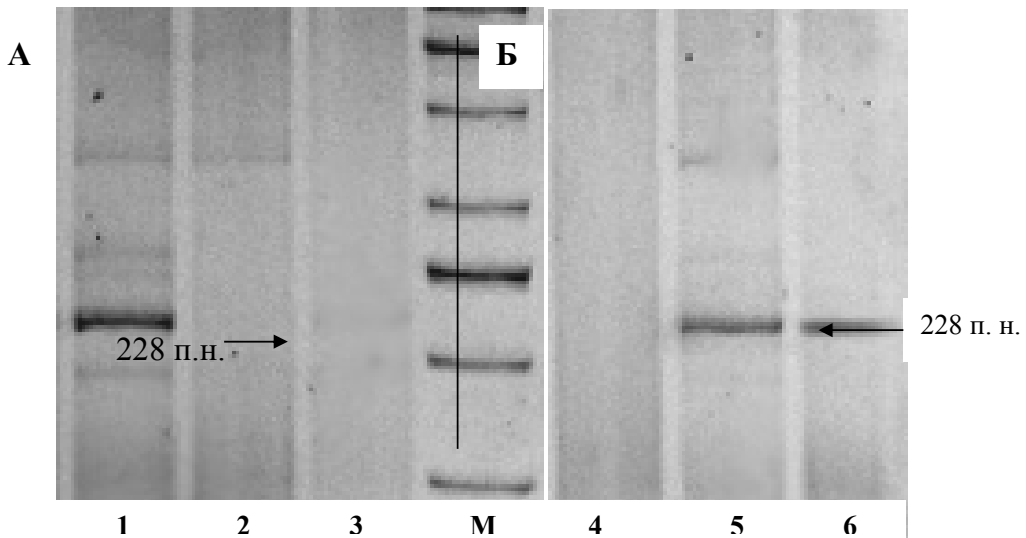


Рис. 2. Електрофоретичний розподіл у 7 % ПААГ продуктів ампліфікації, отриманих за ПЛР з ДНК ліній-аналогів застосуванням алель-специфічних праймерів: А — WR3+BF до алеля *Rht-B1a* та Б — MR3+BF до алеля *Rht-B1e*. На доріжках гелю: 1 — Од.51 (*Rht-B1a*); 2 — Од.51_е B₆; 3 — ОНК; М — маркер молекулярної маси GeneRuler 50bp; 4 — Од.51 (*Rht-B1a*); 5 — Од.51_е B₆; 6 — ОНК

При цьому слід зазначити, що продукти ампліфікації для генотипів з *Rht-B1a* або *Rht-B1b* алелями з цією парою праймерів («MR3» та «BF») не виявляються.

Отже, у лінії Од.51_eB₆, як можна бачити з рисунка 2, детектовано алель *Rht-B1e* від сорту ОНК — донора короткостебловості, на відміну від Од.51, у якої визначено *Rht-B1a*.

Оцінювали вплив алелів (*Rht-B1e* vs *Rht-B1a*) та кількості насичувань рекурентною формою на гаплопродукційну спроможність рослин. Визначали рівень індукції новоутворень і регенерації зелених рослин (табл. 1).

Таблиця 1

Показники успішності першого та другого етапів андрогенезу *in vitro*

Лінія	Алель локусу <i>Rht-B1</i>	Кількість пиляків	Новоутворення		Зелені регенеранти	
			шт.	шт./100 пиляків	шт.	шт./100 новоутворень
Од.51	а	1288	35	2,72 ± 0,45	15	42,86 ± 8,36
Од.51 _e B ₆	е	873	5	0,57 ± 0,26	0	0,00 ± 12,37*
Од.51 _e B ₇	е	796	7	0,88 ± 0,33	1	14,29 ± 13,23
Од.51 _e B ₈	е	1115	6	0,54 ± 0,22	0	0,00 ± 11,02*

* для нульових значень похибка відсотка підраховувалась за формулою Ван-Дер-Вардена [23].

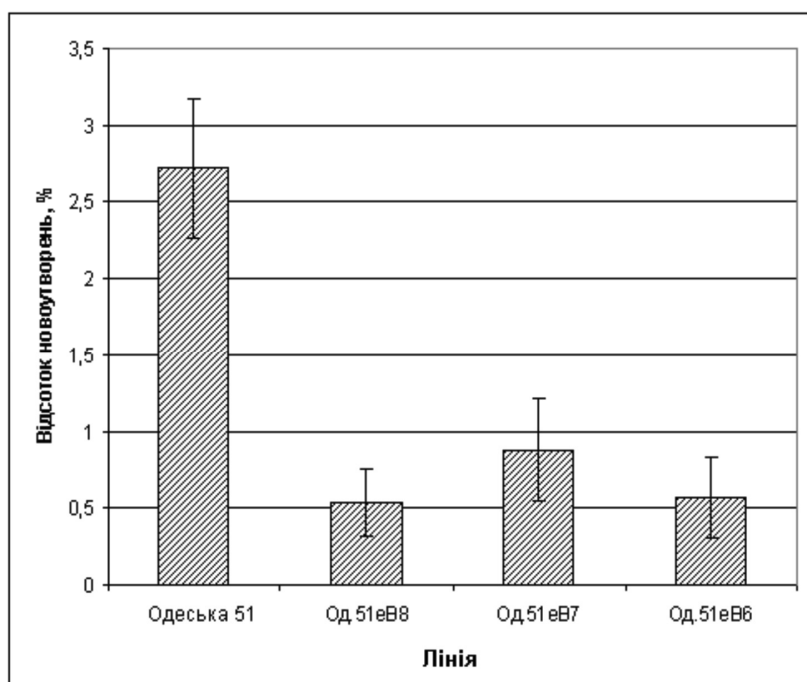


Рис. 3. Частота індукції новоутворень у досліджених ліній

На етапі індукції новоутворень відмінності між генотипами, що відрізнялися за вищезазначеними алелями, виявлялися дуже чітко (рис. 3). Найвищі показники індукції новоутворень були отримані для середньорослих рослин лінії Од.51 з генотипом *Rht-B1a*. Відсоток новоутворень помітно перевищував показники всіх інших ліній з генотипом *Rht-B1e*.

Для оцінки вірогідності впливу факторів генотипу та ступеня відновлення генетичного фону рекурентної лінії на рівень індукції новоутворень використовували дисперсійний аналіз. Дані однофакторного дисперсійного аналізу показали, що алель *Rht-B1e* достовірно впливає на кількість новоутворень (табл. 2). В той час як відмінності між лініями Од.51_eB₆, Од.51_eB₇ і Од.51_eB₈ виявилися невірогідними ($F=1,1$; $p>0,05$).

Таблиця 2

Результати однофакторного дисперсійного аналізу впливу генотипу (алельних відмінностей за локусом *Rht-B1*) на відсоток новоутворень

Джерело варіації	df (ступінь свободи)	SS (сума квадратів)	MS (середній квадрат)	F (відношення Фішера)	p (рівень значимості для обчисленого F)
Генотип	1	3,164	3,164	89,7*	0,011
Похибка	2	0,071	0,035		
Всього	3	3,235			

* — значення достовірне.

Отже, об'єднавши результати першого етапу андрогенезу *in vitro*, одержані на короткостеблових аналогах різного ступеня насичування з однаковим генотипом, можна заключити, що при введенні в генотип рослини алеля *Rht-B1e* індукція новоутворень значно знижується (рис. 4). Очевидно, це можна вважати плейотропним ефектом означеного алеля. Проте, виходячи з результатів нашого попереднього дослідження [24], слід зазначити, що даний ефект істотно залежить від генофону. Так, хоча на генетичному фоні Од.51 результати чинного дослідження відповідають отриманим у вищезгаданому досліді даним [24], короткостебловий аналог сорту Кооператорка з алелем *Rht-B1e*, як і сорт-донор ОНК, показали у вищезгаданому досліді високу частоту новоутворень на першому етапі андрогенезу *in vitro*, перевершивши рекурентну лінію з генотипом *Rht-B1a*. Означене може зумовлюватись присутністю інших сильних генів з позитивним впливом на ознаку, що перекриває негативний ефект алеля *Rht-B1e*, наявністю взаємодії або виникненням домінантних інгібіторів установленого ефекту в результаті мутації.

Чіткої залежності кількості рослин-регенерантів (від числа новоутворень) від алельного стану за локусом *Rht-B1* або від ступеня відновлення генетичного фону рекурентної форми не було виявлено (табл. 1, рис. 5, 6). Хоча тенденція до зростання цього показника у рекурентної лінії (*Rht-B1a*) виявляється чітко. Можливо, це пов'язано з незначним відсотком одержання таких рослин. Зелені рослини були отримані не для всіх форм. Так, новоутворення з пиляків аналогів Од.51eB₆ та Од.51eB₈ не дали ні зелених, ні навіть альбіно регенерантів. Регенеранти з пиляків аналога Од.51eB₇ виявилися стерильними. Лише подвоєні гаплоїди з сорту Одеська 51 дали насіння. Отримана лінія була передана у відділ загальної та молекулярної генетики СГІ–НЦНС.

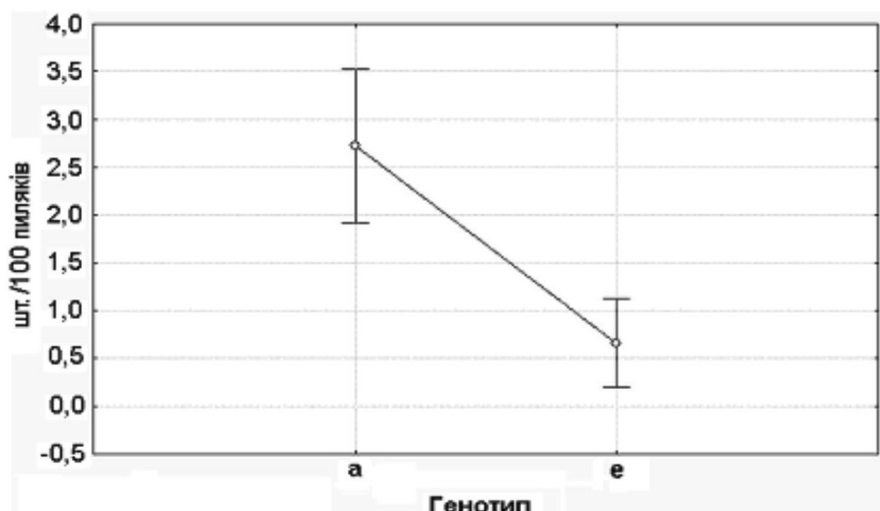


Рис. 4. Вплив генотипу на кількість новоутворень (а — сорт Од.51 (*Rht-B1a*), е — короткостеблові аналоги (*Rht-B1e*), сумарно). Середнє значення $\pm$ 95 % довірчий інтервал

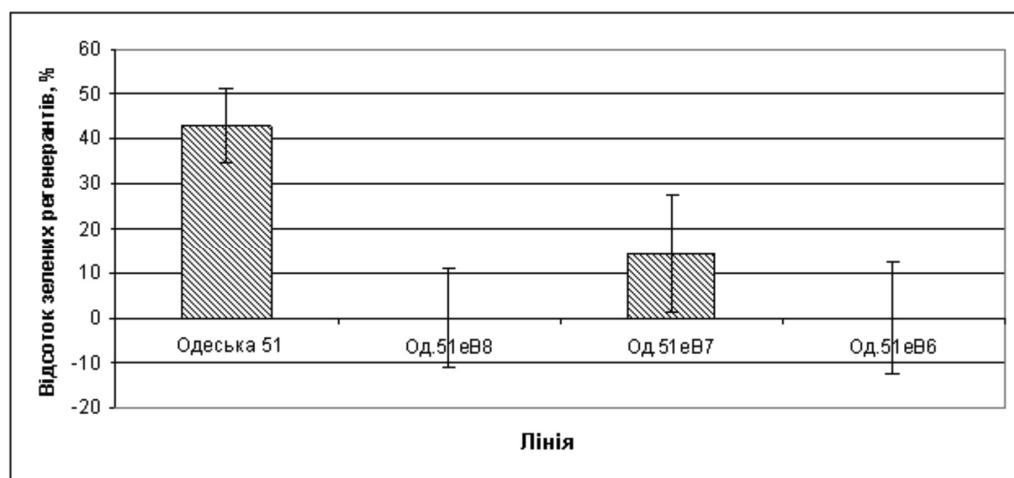


Рис. 5. Другий етап андрогенезу *in vitro* (одержання зелених рослин-регенерантів) у досліджених ліній

Висновки.

1. За ПЛР-аналізом у генотипі досліджуваних ліній були виявлені різні алелі гена *Rht-B1*. У лінії, виділеної з сорту Одеська 51, визначено алель *Rht-B1a*, а у лінії Од.51_{еВ6}, Од.51_{еВ7}, Од.51_{еВ8} ідентифіковано алель *Rht-B1e* від сорту Одеська напівкарликова.

2. Короткостеблові аналоги лінії Одеська 51, які мають алель *Rht-B1e*, суттєво поступаються зазначеній рекурентній лінії (алель *Rht-B1a*) за кількістю новоутворень. Зазначене можна вважати плеiotропним ефектом означеного алеля, який, однак, має здатність суттєво модифікуватись генетичними чинниками того чи іншого генетичного фону.

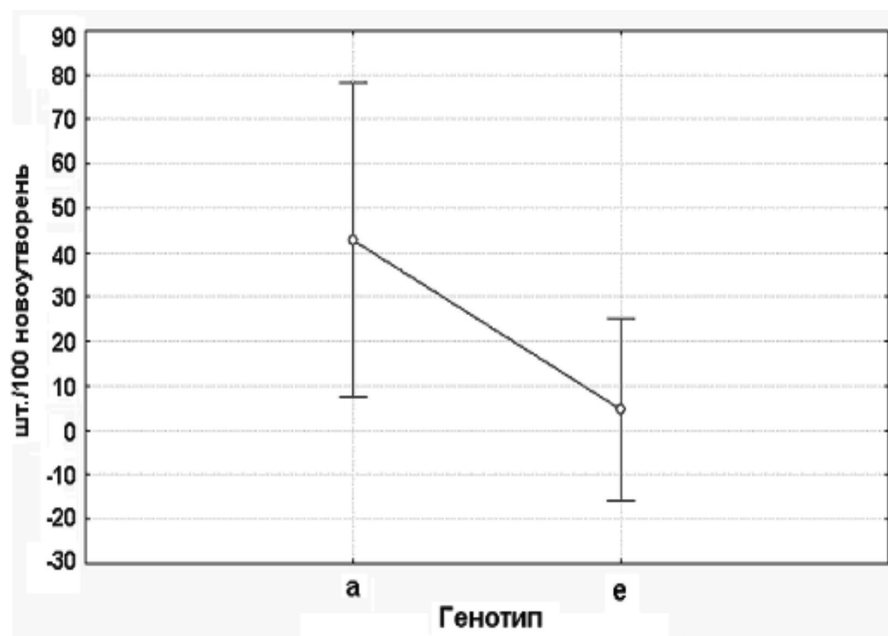


Рис. 6. Вплив генотипу на процент зелених рослин-регенерантів (а — сорт Од.51 (*Rht-B1a*), е — короткостеблові аналоги (*Rht-B1e*), сумарно). Середнє значення $\pm$ 95 % довірчий інтервал

3. Чіткого впливу генотипу лінії та ступеня відновлення генетичного фону рекурентної форми на показник «кількість зелених рослин-регенерантів» від кількості новоутворень не виявлено.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Gupta P. K. Wheat genomics: Present status and future prospects / P. K. Gupta, R. R. Mir, A. Mohan [et al.] // Int. J. Pl. Genomics. — 2008. — Vol. 2008. — P. 1–36.
2. Костина Е. Е. Эффекты генов короткостебельности пшеницы и подсолнечника на культивирование тканей *in vitro* / Е. Е. Костина, О. В. Ткаченко, Ю. В. Лобачев // Биология — наука XXI века: материалы Международной конференции. — М.: МАКС Пресс, 2012. — С. 406–408.
3. Mathias R. J. *In vitro* expression of genes affecting whole plant phenotype — the effect of *Rht/Gai* alleles on the callus culture response of wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell.) / R. J. Mathias, E. Atkinson // Theor. Appl. Genet. — 1988. — Vol. 75, № 3. — P. 474–479.
4. Torp A. M. Genetic markers for haploid formation in wheat anther culture / A. M. Torp, A. L. Hansen, J. B. Holme [et al.] // Proc 9th Int. Wheat Genet. Symp. Saskatoon (Saskatchewan, Canada). — 1998. — Vol. 3: Poster presentation. — P. 159–161.
5. McIntosh R. A. Catalogue of gene symbols for wheat [Електронний ресурс] / R. A. McIntosh, Y. Yamazaki, J. Dubcovsky [et al.] // Proc. 12th Int. Wheat Genet. Symp. Yokohama, Japan, 8–13 September 2013 / KOMUGI, Wheat Genetic Resources Database. — Режим доступу: <http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/download.jsp>

6. Омелянчук Н. А. Использование изогенных линий для изучения каллусообразования и регенерации / Н. А. Омелянчук, А. В. Гвоздев // Использование изогенных линий в селекционно-генетических экспериментах: тез. докл. I Всесоюзн. совещ. — Новосибирск: ИЦИГ, 1990. — С. 96–98.
7. Djatchouk T. I. The effect of *Rht* alleles on the wheat anther culture / T. I. Djatchouk, O. V. Tkachenko, Yu. V. Lobachev // Ann. Wheat Newsletter. — 1999. — Vol. 45. — P. 123.
8. Чеботар Г. О. Алелі генів короткостебловості *Rht8*, *Rht-B1*, *Rht-D1*, нечутливості до фотоперіоду *Ppd-D1* м'якої пшениці та їх ефекти на агрономічні ознаки: дис. ... к. б. н. 03.00.15 — генетика. — Одеса: СГІ–НЦНС, 2012. — 185 с.
9. Keyes G. J. The effects of dwarfing genes *Rht1* and *Rht2* on cellular dimensions and rate of leaf elongation in wheat / G. J. Keyes, D. J. Paolillo, M. E. Sorrells // Ann. Bot. — 1989. — Vol. 64. — P. 683–690.
10. Miralles D. J. Dwarfing genes and cell dimensions in different organs of wheat / D. J. Miralles, D. F. Calderini, K. P. Pomar [et al.] // Journal of Experimental Botany. — 1998. — Vol. 49. — P. 1119–1127.
11. Pearce S. Molecular characterisation of *Rht-1* dwarfing genes in hexaploid wheat (*Triticum aestivum*) / S. Pearce, R. Saville, S. P. Vaughan [et al.] // Plant Physiology. — 2011. — Vol. 157, № 4. — P. 1820–1831.
12. Чеботар Г. О. Вплив алелів генів короткостебловості та гена *Ppd-D1* на агрономічні ознаки м'якої пшениці / Г. О. Чеботар, І. І. Моцний, С. В. Чеботар [та ін.] // Зб. наук. праць СГІ–НЦНС. — Одеса, 2010. — Вип. 16 (56). — С. 148–160.
13. Чеботар Г. О. Порівняння ефектів *Rht*-генів за комплексом біологічних та агрономічних ознак пшениці в широко- і вузькорядному посівах / Г. О. Чеботар, С. В. Чеботар, І. І. Моцний [та ін.] // Збірник наукових праць СГІ–НЦНС. — Одеса, 2013. — Вип. 22 (62). — С. 74–88.
14. Абакуменко А. В. Результаты использования конвергентных скрещиваний в селекции озимой пшеницы / А. В. Абакуменко // Научн.-техн. бюл. СГИ. — Одесса, 1992. — № 1 (81). — С. 4–10.
15. Хангильдин В. В. Оценка короткостебельного аналога линии сорта озимой пшеницы Одесская 51 по компонентам урожая и мукомольно-хлебопекарным качествам / В. В. Хангильдин // Научн.-техн. бюл. ВСГИ. — Одесса, 1990. — № 3 (77). — С. 19–22.
16. Пучков Ю. М. Селекция полукарликовых сортов озимой пшеницы на продуктивность и качество зерна / Ю. М. Пучков, Л. А. Беспалова, Е. Н. Ли // Селекция и генетика пшеницы: сб. науч. работ. — Краснодар, 1985. — С. 3–10.
17. Чеботарь Г. А. Молекулярно-генетический анализ линий-аналогов мягкой пшеницы, различающихся по высоте растений / Г. А. Чеботарь, С. В. Чеботарь, И. И. Моцный [и др.] // Вісник Одеського національного університету. — Сер.: Біологія. — 2009. — Т. 14, вип. 8. — С. 61–71.
18. Моцний І. І. Дискримінація за кількісними ознаками короткостеблових аналогів м'якої пшениці в залежності від ступеня відновлення генофону рекурентного сорту / І. І. Моцний, Г. О. Чеботар, С. В. Чеботар, М. П. Кульбіда // Вісник Одеського національного університету. Сер.: Біологія. — 2013. — Т. 18, вип. 1 (39). — С. 37–45.

19. Ігнатова С. О. Отримання подвоєних гаплоїдів м'якої пшениці в культурі пиляків: методичні рекомендації / С. О. Ігнатова, М. В. Жосонар, О. Л. Шестопал [та ін.] / Півден. біотехнолог. центр в рослин-ві УААН. — Одеса, 2008. — 12 с.
20. Zhuang J. J. Increasing differentiation frequencies in wheat pollen callus / J. J. Zhuang, J. Xu // Cell and tissue culture techniques for cereal crop improvement. — Beijing: Science Press, 1983. — P. 431.
21. Лобанова К. І. Шляхи реалізації регенераційного потенціалу в культурі пиляків у різних генотипів озимої м'якої пшениці / К. І. Лобанова, М. В. Жосонар, С. О. Ігнатова // Вісник Українського товариства генетиків і селекціонерів. — 2006. — Т. 4, № 1. — С. 52–57.
22. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. — М.: Колос, 1973. — 336 с.
23. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. — 3-е изд., испр. — Минск: Высшая школа, 1973. — 320 с.
24. Замбриборщ И. С. Отзывчивость линий гексаплоидной пшеницы с *Rht* генами к андрогенезу и влияние условий получения удвоенных гаплоидов на полевые характеристики регенерантов / И. С. Замбриборщ, А. А. Доброва, Е. И. Лобанова [и др.] // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия мировой флоры: междунар. конф., посв. 80-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси, 19–22 июня 2012 г.: материалы. — Минск, 2012. — Ч. 2. — С. 303–307.

Надійшла 02.11.2016

UDC 576:606:631.1

Boyko M. S.¹, Chebotar G. O.², Motsny I. I.¹, Shestopal O. L.¹, Chebotar S. V.^{1,2} ¹Plant Breeding and Genetics Institute — National Center of Seed and Cultivar Investigations, ²I. I. Mechnikov Odesa National University

INVESTIGATION OF ANDROGENESIS FEATURES IN BREAD WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) LINES ODESKA 51 WITH *Rht-B1e* ALLELE

The androgenesis ability in anther culture of soft winter wheat variety Odesskaya 51 and its three short stem analogues (Od.51_eB₆, Od.51_eB₇, Od.51_eB₈) with different level of saturation (BC₆, BC₇ and BC₈ appropriately) was analyzed. The PCR-analysis was carried out. In the genotype of line, which was picked out from variety Odesskaya 51, *Rht-B1a* allele was determined, and in the analogue lines — *Rht-B1e* allele. The influence of allele differences (*Rht-B1e* vs. *Rht-B1a*) by *Rht-B1* locus and the level of genetic background restoration on haploproductive ability of microspores was considered. The highest index «induction of tumors» was obtained for plants of medium height with *Rht-B1a* genotype. It is revealed, that in case of introduction of *Rht-B1e* allele induction of tumors noticeably decreasing. Thus, the *Rht-B1e* allele on Odesskaya 51 genetics background has a negative influence on index «induc-

tion of tumors». The differences between Od.51_eB₆, Od.51_eB₇ and Od.51_eB₈ lines are unreliable, so, the level of restoration wasn't important for the index variation. Statistically significant dependence of green plants regeneration on allelic state by *Rht-B1* locus or level of genetics background restoration of the recurrent form hasn't been found. The doubled haploides from Odesskaya 51 variety produced seed, which was delivered to the General and Molecular Genetics department of PBGI-NCSCI.

УДК 576:606:631.1

Бойко М. С.¹, Чеботарь Г. А.², Мощный И. И.¹, Шестопад О. Л.¹, Чеботарь С. В.^{1,2} ¹Селекционно-генетический институт — Национальный центр семеноведения и сортоизучения, ²Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова

ОСОБЕННОСТИ АНДРОГЕНЕЗА У ЛИНИЙ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ ОЗИМОЙ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ОДЕССКАЯ 51 С АЛЛЕЛЕМ *Rht-B1e* КОРОТКОСТЕБЕЛЬНОСТИ

Анализировали способность к андрогенезу в культуре пыльников пшеницы мягкой озимой сорта Одесская 51 и трех ее короткостебельных аналогов (Од.51_eB₆, Од.51_eB₇, Од.51_eB₈) разной степени насыщения (соответственно ВС₆, ВС₇ и ВС₈). Проведен ПЦР-анализ, с помощью которого в генотипе линии, выделенной из сорта Одесская 51, определен аллель *Rht-B1a*, а у линий-аналогов — аллель *Rht-B1e*. Изучено влияние аллельных различий (*Rht-B1e* vs. *Rht-B1a*) по локусу *Rht-B1* и степени восстановления генетического фона рекуррентной формы на гаплопродукционную способность микроспор. Самые высокие показатели индукции новообразований получены для среднерослых растений линии Од.51 с генотипом *Rht-B1a*. При введении в генотип растения аллеля *Rht-B1e* индукция новообразований значительно снижалась. Таким образом, на генетическом фоне сорта Одесская 51 аллель *Rht-B1e* негативно влияет на показатель индукции новообразований. Различия же между линиями Од.51_eB₆, Од.51_eB₇ и Од.51_eB₈ оказались недостоверными, следовательно, степень восстановления генетического фона не имеет существенного значения для вариации признака. Статистически значимой зависимости количества растений-регенерантов от аллельного состояния по локусу *Rht-B1* или от степени восстановления генетического фона рекуррентной формы не установлено. Удвоенные гаплоиды сорта Одесская 51 дали семена, которые были переданы в отдел общей и молекулярной генетики СГИ–НЦСС.

УДК 575.22:631.523.11:633.111.1:632.4

О. В. ГАЛАЄВ, к. б. н., пров. наук. співроб.
СГІ–НЦНС, Одеса
e-mail: galaev7@ukr.net

ЕФЕКТИВНІСТЬ РІЗНИХ ГЕНІВ СТІЙКОСТІ ДО БУРОЇ ІРЖІ ТА ЇХНІХ КОМБІНАЦІЙ У МІЖЛІНІЙНИХ ГІБРИДІВ ПШЕНИЦІ ЯРОЇ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Ефективність генів стійкості пшениці до бурої іржі вивчали в умовах Півдня України з використанням сорту Thatcher (Tc) і його 13 майже ізогенних ліній: TcLr9, TcLr10, TcLr14a, TcLr19, TcLr20, TcLr21, TcLr22a, TcLr24, TcLr26, TcLr28, TcLr34, TcLr36, TcLr37 у період з 2013 по 2016 рр. Гени Lr9, Lr19, Lr24 були ефективними, Lr20, Lr21, Lr26, Lr28, Lr36, Lr37 — середньоефективними, Lr10, Lr14a, Lr22a, Lr22b — неефективними. Ген Lr34 є температурозалежним і ефективним лише при середньодобовій температурі повітря не вище 20 °С. Головні Lr гени в різних комбінаціях можуть як посилювати, так і пригнічувати стійкість. Застосуванням молекулярних маркерів відібрано 29 гомозиготних ізогенних ліній з різними комбінаціями двох генів стійкості до бурої іржі.

Ключові слова: пшениця яра, ізогенні лінії, бура іржа, Lr гени, молекулярні маркери.

Вступ. Бура іржа є одним з шкідливих і поширених захворювань пшениці м'якої у світі. Завдяки одночасній еволюції рослини-господаря та патогена, а також через можливе занесення інфекції з суміжних регіонів з'являються нові раси і біотиби гриба, котрі долають стійкість пшениці до даного захворювання [1]. Звуження різноманітності сучасних сортів за генами стійкості створює сприятливі умови для виникнення епіфітотій. У зв'язку з цим виникає необхідність у постійному пошуку все нових і нових високоефективних генів у генофонді диких співродичів. Створення сортів пшениці з ефективними генами чужорідного походження у геномі — високозатратний і тривалий процес, який можна значно прискорити застосуванням молекулярних маркерів. Однак маркери до нових генів, що визначають високу стійкість, відсутні, і часто невідомо, які саме гени або їх комбінації забезпечують стійкість. Тому паралельно зі створенням вихідного матеріалу для селекції триває чимала робота з пошуку маркерів, зчеплених з важливими генами, що не сприяє прискоренню добору потрібних генотипів. Також доволі рідко вдається використати нові гени від диких видів з комерційною метою через те, що інтрогресивні ділянки хромосом, крім корисних генів, часто

містять генетичний матеріал, який може негативно впливати на прояв агрономічно цінних ознак.

Шляхами вирішення даної проблеми є пірамідування («укладання генів»): відомих ефективних головних генів, подоланих головних генів та ефективних з подоланими генами. При об'єднанні в одному генотипі подоланих головних генів прийнятний рівень стійкості досягається за рахунок залишкових ефектів на стійкість, які проявляються кожним подоланим геном і їхньою адитивною дією [2]. Використання відомих головних генів стійкості, до яких розроблені молекулярні маркери, полегшує їхнє комбінування в одному генотипі.

Незважаючи на велику кількість робіт з вивчення генетичних та молекулярно-генетичних аспектів стійкості до бурої листової іржі, досить мало досліджень стосовно прояву стійкості при взаємодії різних *Lr* генів [3–5]. На сьогодні є інформація про 87 генів стійкості та їхніх алелів [6]. За даними Л. Бабаянц та інш. [7; 8], в Україні ефективними генами є *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr29*, *Lr37*, *Lr39*, *Lr42*, *Lr47*, *Lr1AL/1RS*, *LrAc1*, *LrAc2*, *LrTe1*, *LrTe2*, *LrAd1*, *LrAd2*. Інші гени забезпечують помірну стійкість або втратили її.

Стійкість існуючих сортів пшениці до бурої іржі — результат взаємодії багатьох *Lr* генів між собою як ефективних, так і подоланих. Припустили, що у комбінаціях ефективних генів між собою можливе зменшення рівня стійкості; у комбінаціях подоланих генів — посилення рівня стійкості, а поєднання ефективних з подоланими генами може призвести як до посилення, так і до зниження стійкості рослини. Щоб уникнути ефектів прояву інших *Lr* генів, які наявні в генетичному фоні існуючих сортів пшениці, у дослідженні використовували майже ізогенні лінії сорту Тетчер з відповідними генами стійкості до бурої іржі для отримання їхніх міжлінійних гібридів F_{1-2} .

Метою даного дослідження є вивчення ефектів головних *Lr* генів та особливостей їхньої взаємодії у міжлінійних гібридів F_{1-2} пшениці ярої в умовах Півдня України.

Матеріали і методи. Об'єктами досліджень слугували зразки пшениці ярої *Triticum aestivum* L., сорт Thatcher (Tc) з геном стійкості *Lr22b*, майже ізогенні лінії сорту Thatcher *TcLr9*, *TcLr10*, *TcLr14a*, *TcLr19*, *TcLr20*, *TcLr21*, *TcLr22a*, *TcLr24*, *TcLr26*, *TcLr28*, *TcLr34*, *TcLr36*, *TcLr37* (табл. 1) та 29 гібридних комбінацій F_{1-2} від схрещування ізогенних ліній. Сорт Тетчер та ізогенні лінії надані USDA, Germplasm Resources Information Network (<http://www.ars-grin.gov>).

ДНК виділяли з 5-денних паростків, зеленого листа або сухого зерна з застосуванням СТАВ-буфера [9]. Присутність *Lr* генів у батьківських лініях *TcLr* та гібридах F_{1-2} контролювали за молекулярно-генетичними маркерами (табл. 2). Умови ПЛР-аналізу з молекулярними маркерами до *Lr* генів наведено в роботах О. В. Галаєва та інш. [10; 11].

Таблиця 1

Рослинний матеріал дослідження

Ген	Код	Родовід	Локалізація в геномі <i>T. aestivum</i> L.
<i>Lr9</i>	GSTR 409	Thatcher*6/ <i>Aegilops umbellulata</i>	T6BS. 6BL-6U#1L
<i>Lr10</i>	GSTR 410	Thatcher*6/Lee	1AS
<i>Lr14a</i>	GSTR 414	Thatcher*6/Hope	7BL
<i>Lr19</i>	GSTR 420	Thatcher*6/ <i>Agropyron elongatum</i>	7DL = T7DS-7DL-7Ae#1L 7AL = T7AS-7AL-7Ae#1L
<i>Lr20</i>	GSTR 421	Thatcher*6/Thew	7AL
<i>Lr21</i>	GSTR 422	Thatcher*6/ <i>Aegilops tauschii</i>	1DS
<i>Lr22a</i>	GSTR 423	Thatcher*6/ <i>Aegilops tauschii</i>	2DS
<i>Lr24</i>	GSTR 425	Thatcher*6/ <i>Agropyron elongatum</i>	3DS-3DL-3Ae#1L
<i>Lr26</i>	GSTR 427	Thatcher*6/Imperial (rye)	T1BL. 1RS
<i>Lr28</i>	GSTR 428	Thatcher*6/ <i>Aegilops speltoides</i>	4AL = T4AS. 4AL-7S#2S
<i>Lr34</i>	GSTR 433	Thatcher*6/Terenzio	7DS
<i>Lr36</i>	GSTR 435	Neepawa*5/ <i>Aegilops speltoides</i>	6BS
<i>Lr37</i>	GSTR 436	Thatcher*6/ <i>Aegilops ventricosa</i>	2NS-2AS
<i>Lr22b</i>	GSTR 10202	Thatcher	2DS

Розвиток бурої іржі пшениці в польових умовах вивчали на дорослих рослинах у природному інфекційному фоні на Півдні України (м. Одеса, поля СГІ–НЦНС) у 2013, 2014, 2015 та 2016 рр. (ізогенні лінії та сорт Тетчер), у 2014 р. (гібриди F_1), у 2015 р. (гібридні популяції F_2), у 2016 р. (родини F_3). Розвиток хвороби вивчали з часу появи пустул (травень) до відмирання листя (липень). Вплив температури на дію генів стійкості досліджували в 2014 і 2015 рр. Обліки проводили в динаміці з інтервалом 7 діб. Для кожного варіанта досліду оцінювали ступінь ураження 10 рослин. Для побудови кривих з розвитку хвороби використовували середні значення за варіантами. Інтенсивність ураження визначали за інтегрованою 9-бальною шкалою оцінок стійкості зернових колосових культур збудниками іржі: 1 — дуже висока чутливість; 2 — висока чутливість; 3–4 — чутливість; 5 — помірна чутливість; 6 — помірна стійкість; 7 — стійкість; 8 — висока стійкість; 9 — дуже висока стійкість [8]. Контролем чутливості був сорт Thatcher.

Результати досліджень. Присутність *Lr* генів у батьківських лініях *TcLr* та гібридах F_{1-2} контролювали молекулярно-генетичними маркерами (табл. 2). З наявних у науковій літературі послідовностей праймерів, рекомендованих авторами як маркери для ідентифікації *Lr* генів, відібрали ті, що відповідали двом критеріям:

1) наявність заявленого маркерного фрагмента ампліфікації, що свідчить про присутність гена (табл. 2);

2) специфічність маркера — ідентифікація *Lr* гена тільки у відповідної ізогенної лінії (табл. 3).

Таблиця 2

ПЛР-маркери, які використані для ідентифікації *Lr*-генів

Ген стійкості	Праймер	Послідовність праймера 5' — 3'	Продукт ампліфікації, п. н.	Літературні джерела
<i>Lr9</i>	SCS5F SCS5R	tcgccccttcaaaggaag tcgccccttctgaactgtat	550	12
<i>Lr10</i>	F1.2245 Lr10–6/r2	gaagcccttcgtctcatctg ttgattcattgcagatgagatcacg	282	13
<i>Lr14a</i>	Xgwm344F Xgwm344R	caaggaaataggcggttaact atttgagtctgaagtttgca	110	14
<i>Lr19</i>	Xwmc221F Xwmc221R	acgataatgcagcggggaat gctgggatcaagggatcaat	200	15
<i>Lr20</i>	C320–1 C320–2	ccggcatagatcgagaatag ccggcatagaactttaagcg	420	16
<i>Lr21</i>	Xgdm33F Xgdm33R	cgctcaaattcaaccgttctt tacgttctggtggctgctc	130	17
<i>Lr22a</i>	Xgwm296F Xgwm296R	aattcaacctaccaatctctg gcctaataaactgaaaacgag	121	18
<i>Lr24</i>	Sr24/Lr24.1 Sr24/Lr24.2	cacccgtgacatgctcgta aacaggaaatgagcaacgatgt	500	19
<i>Lr26</i>	Xscm9F Xscm9R	tgacaaccccccttccctcgt tcatcgacgctaaggaggaccc	212	20
<i>Lr28</i>	Lr 28–01 Lr 28–02	cccggcataagtctatggtt caatgaatgagatacgtgaa	400	21
<i>Lr34</i>	csLV34F csLV34R	gttggtaagactggtgatgg tgcttgctattgctgaatagt	150	22
<i>Lr36</i>	36F 36R	gctgcatgagctctgcaat tctgtgaggcattgacagaa	282	23
<i>Lr37</i>	Ventriup LN2	aggggctactgaccaaggct tgcagctacagcagtatgtaca- caaaa	259	24

Статистична обробка результатів — за загальноприйнятими методиками [25].

Оцінки стійкості сорту Тетчер (Тс) та 13 його ізогенних ліній до бурої іржі у 2013–2016 рр. були схожі у порівнянні з контролем чутливості — сорт Thatcher (табл. 4). Досліджені ізогенні лінії поділені на групи за ступенем стійкості та чутливості до збудника бурої іржі: 1) високостійкі (носії генів *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*); 2) стійкі (носії генів *Lr26*, *Lr28*, *Lr36*, *Lr37*); 3) слабчутливі (носії генів *Lr20*, *Lr21*, *Lr34*); 4) чутливі (носії генів *Lr10*, *Lr14a*, *Lr22a*, *Lr22b*). Залежність дії генів, які не забезпечують високої стійкості в умовах Півдня України, від температури вивчали в період з початку травня (вихід у трубку) до середини червня (цвітіння) в 2014, 2015 рр.

Середньодобові значення температури в м. Одеса у роки дослідження суттєво не варіювали (рис., а). Криві розвитку бурої іржі на сорті Thatcher і його ізогенних ліній з генами стійкості в 2014 та 2015 рр. були подібні (рис., б–в). Серед вивчених ізогенних ліній тільки у лінії *TcLr34* ви-

явлено уповільнення розвитку захворювання у період, коли температура повітря не перевищувала 20 °С. При підвищенні температури ураження бурю іржею різко збільшувалось — з 5 до 50–65 % (рис., б–в). Це свідчить про залежність дії гена *Lr34* від температури та зниження його ефективності при високій температурі, що відповідає даним літератури [26; 27]. Гени *Lr20*, *Lr21*, *Lr26*, *Lr28*, *Lr36*, *Lr37* забезпечують стійкість до іржі незалежно від умов довкілля.

Таблиця 3

Ідентифікація *Lr* генів у наборі ізогенних ліній та сорту Thatcher за молекулярними маркерами

Лінія	Гени												
	Lr9	Lr10	Lr14a	Lr19	Lr20	Lr21	Lr22a	Lr24	Lr26	Lr28	Lr34	Lr36	Lr37
Thatcher (<i>Lr22b</i>)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Tc <i>Lr9</i>	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Tc <i>Lr10</i>	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Tc <i>Lr14a</i>	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Tc <i>Lr19</i>	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Tc <i>Lr20</i>	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Tc <i>Lr21</i>	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–
Tc <i>Lr22a</i>	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–
Tc <i>Lr24</i>	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–
Tc <i>Lr26</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–
Tc <i>Lr28</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
Tc <i>Lr34</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–
Np <i>Lr36</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–
Tc <i>Lr37</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+

Примітка: «+» — присутність маркерного фрагмента ампліфікації, «–» — відсутність маркерного фрагмента ампліфікації.

Викликає інтерес вивчення ефектів взаємодії гена *Lr34* з іншими генами стійкості до бурої іржі в залежності від температури. При дослідженні гібридів F_1 , одержаних від схрещування Tc*Lr34* x Tc*Lr10*, Tc*Lr34* x Tc*Lr20*, Tc*Lr34* x Tc*Lr21*, Tc*Lr34* x Tc*Lr26* та Tc*Lr34* x Tc*Lr28*, виявлено, що ген *Lr34* уповільнює ураження іржею при низьких температурах, а у випадку в комбінації з геном *Lr26* посилює стійкість у порівнянні з лінією Tc*Lr26* (рис., г). У міжлінійних гібридів F_1 Tc*Lr34* x Tc*Lr36* та Tc*Lr34* x Tc*Lr37* не виявлено посилення стійкості, а у гібридів F_1 Tc*Lr34* x Tc*Lr14a* спостерігалась супресія дії гена *Lr34* геном *Lr14a*. Супресуючий вплив гена *Lr14a* слід враховувати селекціонерам, оскільки цей ген поширений серед сортів української селекції [8]. Ген *Lr34* широко використовується в селекції на тривалу стійкість у присутності головних генів, а також якщо в одному генотипі об'єднують 4 або більше малих генів, як було показано в CIMMYT. Близько 55 % європейських сортів пшениці мали вікову стійкість, зумовлену кількісними генами (QTLs) і (або) *Lr34* [28].

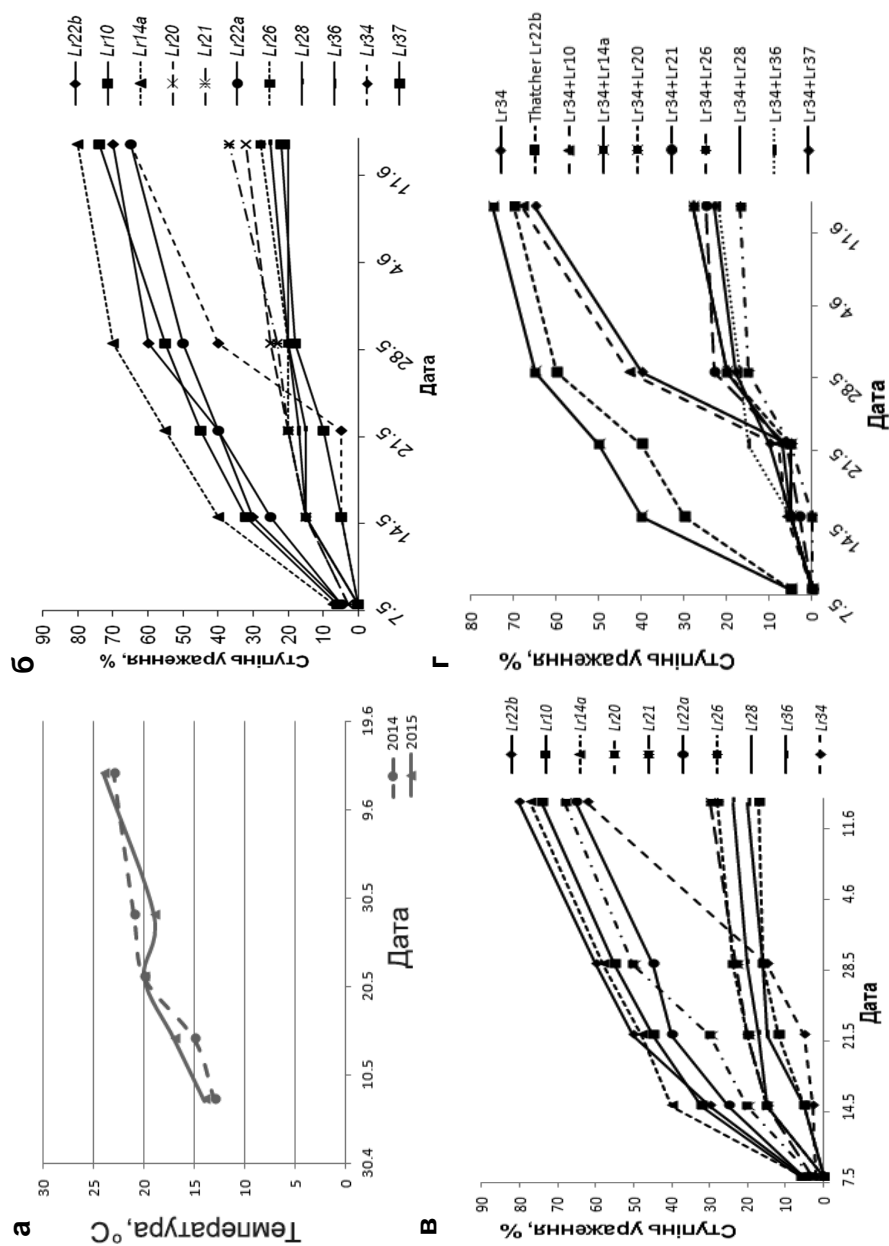


Рис. Криві з розвитку бурі іржі на сорті Thatcher і його ізогенних лініях та міжлінійних гібридах F_1 у 2014, 2015 рр.; а — середньодобова температура повітря; б — розвиток захворювання у 2014 р.; в — розвиток захворювання у 2015 р.; г — розвиток захворювання у 2014 р. на міжлінійних гібридах F_1

Результати ПЛР-аналізу гібридних популяцій F_2 за дібраними молекулярними маркерами наведено в таблиці 5. Співвідношення класів розщеплення у 24 популяцій F_2 за молекулярними маркерами відповідає очікуваному, окрім п'яти комбінацій, в яких одним із батьків була використана ізогенна лінія *TcLr26*. Це явище можна пояснити відомим фактом зниження частоти передачі через пилкові зерна транслокації 1BL/1RS [29; 30].

Таблиця 4

Стійкість ізогенних ліній на природному фоні місцевих популяцій збудника бурої іржі у різні роки, бал, по роках

Лінія	2013	2014	2015	2016
Thatcher (<i>Lr22b</i>)	2	4	3	4
<i>TcLr9</i>	8	9	9	9
<i>TcLr10</i>	2	4	4	4
<i>TcLr14a</i>	2	3	4	3
<i>TcLr19</i>	9	9	9	9
<i>TcLr20</i>	2	6	4	6
<i>TcLr21</i>	5	4	6	6
<i>TcLr22a</i>	6	4	4	4
<i>TcLr24</i>	8	8	8	9
<i>TcLr26</i>	4	6	6	6
<i>TcLr28</i>	5	6	6	7
<i>TcLr34</i>	5	4	4	5
<i>NpLr36</i>	6	6	7	7
<i>TcLr37</i>	5	6	6	6

При порівнянні даних генотипування гібридів F_{1-2} і фенотипового прояву стійкості до бурої листової іржі визначили, що головні *Lr* гени в різних комбінаціях можуть як посилювати, так і пригнічувати стійкість (табл. 5). Так, наявність генів *Lr36* та *Lr37* призводила до суттєвого зменшення стійкості рослин при їхньому комбінуванні з генами *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr26*. У рослин гібридів *TcLr20xTcLr10* та *TcLr20xTcLr21* також спостерігалось посилення стійкості до бурої листової іржі. Комбінації генів *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr26*, *Lr34* між собою не призводили до зниження стійкості, тому зазначені гени можуть бути об'єднані в генотипах за допомогою MAS-технологій для забезпечення гарантованої довготривалої стійкості. Отриману інформацію про взаємодію *Lr* генів у різних комбінаціях потрібно враховувати селекціонерам при створенні сортів з тривалою стійкістю до бурої іржі.

Унаслідок дослідження в F_2 популяціях від схрещування ліній-носіїв різних *Lr* генів за молекулярно-генетичними маркерами відібрано 29 гомозиготних ізогенних ліній з різними комбінаціями двох генів стійкості до бурої листової іржі.

Таблиця 5
Розщеплення 29 гібридних популяцій F₂ за Lr генами і за ступенем стійкості та чутливості до збудника бурого іржі

№	Гібридна ком- бінація	Кількість рослин F ₂	Розщеплення за Lr генами			Оцінка стійкості F ₂	Розщеплення за ступенем стійкості та чутли- вості		
			Фактично одержане	Теоретично очікуване	Х ²		Фактично одержане, кількість рослин (бал)	Теоретично очікуване	Х ²
1	TcLr9 x TcLr19	50	30 (Lr9+Lr19) : 9 (Lr9) : 8 (Lr19) : 3 (lr9+lr19)	9 : 3 : 3 : 1	0,07	9	47 (9) : 3 (3)	15 : 1	0
2	TcLr9 x TcLr24	48	30 (Lr9+Lr24) : 8 (Lr9) : 8 (Lr24) : 2 (lr9+lr24)	9 : 3 : 3 : 1	0,13	9	46 (9) : 2 (3)	15 : 1	0,35
3	TcLr9 x TcLr26	50	20 (Lr9+Lr26) : 14 (Lr9) : 5 (Lr26) : 11 (lr9+lr26)	9 : 3 : 3 : 1	28,7	8	34 (8) : 5 (6) : 11 (3)	12 : 3 : 1	23,5
4	TcLr9 x TcLr36	50	23 (Lr9+Lr36) : 9 (Lr9) : 12 (Lr36) : 6 (lr9+lr36)	9 : 3 : 3 : 1	4,2	8	38 (6) : 9 (9) : 3 (3)	12 : 3 : 1	0
5	TcLr9 x TcLr37	50	29 (Lr9+Lr37) : 8 (Lr9) : 9 (Lr37) : 4 (lr9+lr37)	9 : 3 : 3 : 1	0,07	6	38 (6) : 8 (9) : 4 (3)	12 : 3 : 1	1,4
6	TcLr19 x TcLr24	50	29 (Lr19+Lr24) : 10 (Lr19) : 7 (Lr24) : 4 (lr19+lr24)	9 : 3 : 3 : 1	0,5	9	46 (9) : 4 (3)	15 : 1	0,3
7	TcLr19 x TcLr26	50	21 (Lr19+Lr26) : 13 (Lr19) : 6 (Lr26) : 10 (lr19+lr26)	9 : 3 : 3 : 1	20,6	8	34 (8) : 6 (6) : 10 (3)	12 : 3 : 1	17,7
8	TcLr19 x TcLr36	50	24 (Lr19+Lr36) : 9 (Lr19) : 12 (Lr36) : 5 (lr19+lr36)	9 : 3 : 3 : 1	3,1	8	38 (6) : 9 (9) : 3 (3)	12 : 3 : 1	0
9	TcLr19 x TcLr37	47	26 (Lr19+Lr37) : 9 (Lr19) : 8 (Lr37) : 4 (lr19+lr37)	9 : 3 : 3 : 1	0,07	8	35 (6) : 9 (9) : 3 (3)	12 : 3 : 1	0,03

10	TcLr20 x TcLr10	50	28 (Lr20+ Lr10) : 10 (Lr20) : 8 (Lr10) : 4 (Ir20+Ir10)	9 : 3 : 3 : 1	0,5	8	28 (6) : 22 (3-4)	9 : 7	0
11	TcLr20 x TcLr21	50	30 (Lr20+ Lr21) : 9 (Lr20) : 8 (Lr21) : 3 (Ir20+Ir21)	9 : 3 : 3 : 1	0,13	8	26 (8) : 21 (6) : 3 (3)	9 : 6 : 1	0,5
12	TcLr20 x TcLr22a	50	27 (Lr20+ Lr22a) : 9 (Lr20) : 10 (Lr22a) : 4 (Ir20+Ir22a)	9 : 3 : 3 : 1	0,5	4	29 (3-4) : 21 (5)	9 : 7	0
13	TcLr20 x TcLr26	50	21 (Lr20+ Lr26) : 12 (Lr20) : 6 (Lr26) : 11 (Ir20+Ir26)	9 : 3 : 3 : 1	25,2	4	27 (6) : 23 (3-4)	12 : 4	13,2
14	TcLr20 x TcLr36	50	25 (Lr20+ Lr36) : 9 (Lr20) : 9 (Lr36) : 7 (Ir20+Ir36)	9 : 3 : 3 : 1	5,9	6	27 (6) : 9 (8) : 14 (3-4)	9 : 3 : 4	0,5
15	TcLr24 x TcLr21	49	27 (Lr24+Lr21) : 8 (Lr24) : 10 (Lr21) : 4 (Ir24+Ir21)	9 : 3 : 3 : 1	0,5	8	35 (8) : 10 (6) : 4 (3)	12 : 3 : 1	0,7
16	TcLr24 x TcLr26	46	20 (Lr24+Lr26) : 9 (Lr24) : 6 (Lr26) : 11 (Ir24+Ir26)	9 : 3 : 3 : 1	24,3	8	29 (8) : 6 (6) : 11 (3)	12 : 3 : 1	23,0
17	TcLr24 x TcLr36	50	28 (Lr24+Lr36) : 8 (Lr24) : 8 (Lr36) : 6 (Ir24+Ir36)	9 : 3 : 3 : 1	3,2	8	38 (6) : 8 (8) : 3 (3)	12 : 3 : 1	0,1
18	TcLr24 x TcLr37	47	26 (Lr24+Lr37) : 9 (Lr24) : 7 (Lr37) : 5 (Ir24+Ir37)	9 : 3 : 3 : 1	1,6	6	33 (6) : 9 (8) : 5 (3)	12 : 3 : 1	2,0
19	TcLr34 x TcLr9	50	28 (Lr34+ Lr9) : 9 (Lr34) : 9 (Lr9) : 4 (Ir34+Ir9)	9 : 3 : 3 : 1	1,3	9	37 (9) : 13 (3-4)	12 : 4	0,1
20	TcLr34 x TcLr10	50	27 (Lr34+ Lr10) : 11 (Lr34) : 8 (Lr10) : 4 (Ir34+Ir10)	9 : 3 : 3 : 1	1,5	5	27 (5) : 23 (3-4)	9 : 7	0,3
21	TcLr34 x TcLr14a	50	24 (Lr34+ Lr14a) : 11 (Lr34) : 10 (Lr14a) : 5 (Ir34+Ir14a)	9 : 3 : 3 : 1	2,7	3	39 (3) : 11 (4)	13 : 3	0,5

Закінчення табл. 5

№	Гібридна ком- бінація	Кількість рослин F ₂	Розщеплення за Lr генами			Оцінка стійкості гібридів F ₂	Розщеплення за ступенем стійкості та чутливості	
			Фактично одержане	Теоретично очікуване	χ ²		Фактично одержане, кількість рослин (бал)	Теоретично очікуване
22	TcLr34 x TcLr19	50	25 (Lr34+Lr19) : 10 (Lr34) : 10 (Lr19) : 5 (lr34+lr19)	9 : 3 : 3 : 1	2,0	9	35 (9) : 15 (3-4)	12 : 4
23	TcLr34 x TcLr20	50	31 (Lr34+Lr20) : 8 (Lr34) : 9 (Lr20) : 2 (lr34+lr20)	9 : 3 : 3 : 1	0,5	5	31 (3-4) : 19 (5)	10 : 6
24	TcLr34 x TcLr21	50	28 (Lr34+Lr21) : 11 (Lr34) : 8 (Lr21) : 3 (lr34+lr21)	9 : 3 : 3 : 1	0,5	6	38 (6) : 12 (3-4)	12 : 4
25	TcLr34 x TcLr24	48	28 (Lr34+Lr24) : 10 (Lr34) : 8 (Lr24) : 4 (lr34+lr24)	9 : 3 : 3 : 1	1,5	8	36 (8) : 14 (3-4)	12 : 4
26	TcLr34 x TcLr26	50	22 (Lr34+Lr26) : 12 (Lr34) : 6 (Lr26) : 10 (lr34+lr26)	9 : 3 : 3 : 1	20,0	6	28 (6) : 22 (3-4)	12 : 4
27	TcLr34 x TcLr28	50	30 (Lr34+Lr28) : 9 (Lr34) : 7 (Lr28) : 4 (lr34+lr28)	9 : 3 : 3 : 1	0,8	6	37 (6) : 13 (3-4)	12 : 4
28	TcLr34 x TcLr36	50	22 (Lr34+Lr36) : 12 (Lr34) : 8 (Lr36) : 8 (lr34+lr36)	9 : 3 : 3 : 1	11,1	6	33 (6) : 17 (3-4)	12 : 4
29	TcLr34 x TcLr37	50	30 (Lr34+Lr37) : 9 (Lr34) : 8 (Lr37) : 3 (lr24+lr37)	9 : 3 : 3 : 1	0,13	6	38 (6) : 12 (3-4)	12 : 4

Висновки.

1. Показано, що в умовах Півдня України гени *Lr9*, *Lr19*, *Lr24* були ефективними, *Lr20*, *Lr21*, *Lr26*, *Lr28*, *Lr36*, *Lr37* — середньоефективними, *Lr10*, *Lr14a*, *Lr22a*, *Lr22b* — неефективними. Ген *Lr34* є температурозалежним і ефективним, коли середньодобова температура повітря не перевищує 20 °С.

2. Головні *Lr* гени в різних комбінаціях можуть як посилювати, так і пригнічувати стійкість. Присутність генів *Lr36* та *Lr37* призводила до суттєвого зменшення стійкості рослин при їх комбінації з генами *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr20*. У рослин гібридів F_1 *TcLr20xTcLr10* та *TcLr20xTcLr21* спостерігалось посилення стійкості до бурої листової іржі. Присутність гена *Lr34* в комбінаціях з генами *Lr10*, *Lr20*, *Lr26*, *Lr28* підвищувала стійкість рослин при температурі 13–20 °С. У комбінації *Lr34+Lr14a* дія гена *Lr34* супресується геном *Lr14a*. Комбінації генів *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr26*, *Lr34* між собою не призводили до зменшення стійкості, тому зазначені гени можуть бути об'єднані в генотипах за допомогою MAS-технологій для забезпечення гарантованої довготривалої стійкості.

3. За молекулярними маркерами відібрано 29 гомозиготних ізогенних ліній з різними комбінаціями двох генів стійкості до бурої листової іржі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kolmer J. A. Genetics of resistance to wheat leaf rust / J. A. Kolmer // Annu. Rev. Phytopathol. — 1996. — 34. — P. 435–455.
2. Волуевич Е. А. Генетические подходы в селекции мягкой пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине / Е. А. Волуевич // Молекулярная и прикладная генетика. — 2013. — Т. 14. — С. 36–45.
3. Плотникова Л. Я. Эффективность генов возрастной устойчивости пшеницы к бурой ржавчине *Lr22b*, *Lr34*, *Lr37* в Западной Сибири и цитофизиологическая основа их действия / Л. Я. Плотникова, Т. Ю. Штубей // Вавиловский журнал генетики и селекции. — 2012. — Т. 16, № 1. — С. 123–131.
4. Singh R. P. Achieving nearimmunity to leaf and stripe rusts in wheat by combining slow rusting resistance genes / R. P. Singh, J. Huerta-Espino, S. Rajaram // Acta phytopathologica et entomologica hungarica. — 2000. — Vol. 35. — P. 133–139.
5. Lillemo M. Multiple rust resistance and gene additivity in wheat: lessons from multi-location case studies in the cultivars Parula and Saar / M. Lillemo, R. P. Singh, M. William, E. S. Lagudah // Global Rust Initiative Meeting, St. Paul. — 2011. — P. 111–120.
6. McIntosh R. A. Catalogue of gene symbols for wheat: 2011 supplement / R. A. McIntosh, J. Dubcovsky, W. J. Rogers [et al.]. — <http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/macgene/supplement2011.pdf>
7. Бабаянц Л. Т. Расовый состав *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici* в Степи Украины и сортоустойчивость пшеницы / Л. Т. Бабаянц, О. В. Бабаянц, А. А. Васильев, В. А. Трасковецкая // Збірник наукових праць СГІ. — 2004. — Вип. 6 (46). — С. 279–288.

8. Бабаянц О. В. Основы селекции и методология оценок устойчивости пшеницы к возбудителям болезней / О. В. Бабаянц, Л. Т. Бабаянц; СГИ–НЦСС. — Одесса: ВМВ, 2014. — 401 с.
9. Использование ПЦР-анализа в генетико-селекционных исследованиях: науч.-метод. руководство. — К.: Аграр. наука, 1998. — 156 с.
10. Gorash A. Leaf rust resistance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines derived from interspecific crosses / A. Gorash, A. Galaev, O. Babayants, L. Babayants // Zemdirbyste-Agriculture. — 2014. — V. 101, No. 3. — P. 295–302.
11. Галаєв О. В. Характеристика сортів пшениці м'якої української і російської селекції за алелями локусу *csLV34*, зчепленого з геном мультипатогенної стійкості *Lr34/Yr18/Pm38* / О. В. Галаєв, Ю. М. Сиволап // Цитология и генетика. — 2015. — Т. 49, № 1. — С. 18–25.
12. Gupta S. K. Development and validation of molecular markers linked to *Aegilops umbellulata* derived leaf rust resistance gene, *Lr9*, for marker-assisted selection in bread wheat / S. K. Gupta, A. Charpe, S. Koul [et al.] // Genome. — 2005. — V. 48(5). — P. 823–830.
13. Schachermayr G. Molecular markers for the detection of the wheat leaf rust resistance gene *Lr10* in diverse genetic backgrounds / G. Schachermayr, C. Feuillet, B. Keller // Molecular Breeding. — Volume 3, Issue 1. — P. 65–74.
14. Zhang P. An AFLP marker linked to the leaf rust resistance gene *LrBi16* and test of allelism with *Lr14a* on chromosome arm 7BL / P. Zhang, H. Zhou, C. Lan [et al.] // Crop Journal. — Volume 3, Issue 2. — P. 152–156.
15. Gupta P. K. Identification and validation of molecular markers linked to the leaf rust resistance gene *Lr19* in wheat / P. K. Gupta, A. Charpe, K. V. Prabhu, J. P. Hardouin // Theoretical and Applied Genetics. — 2006. — V. 113. — P. 1027–1036.
16. Neu C. Genetic mapping of the *Lr20-Pm1* resistance locus reveals suppressed recombination on chromosome arm 7AL in hexaploid wheat / C. Neu, N. Stein, B. Keller // Genome. — 2006. — V. 45. — P. 737–744.
17. Spielmeyer W. NBS-LRR sequence family is associated with leaf and stripe rust resistance on the end of homoeologous chromosome group 1S of wheat / W. Spielmeyer, L. Huang, H. Bariana [et al.] // Theoretical and Applied Genetics. — 2000. — Vol. 101. — P. 1139–1144.
18. Hiebert C. W. Microsatellite mapping of adult-plant leaf rust resistance gene *Lr22a* in wheat / C. W. Hiebert, J. B. Thomas, D. J. Somers [et al.] // Theoretical and Applied Genetics. — 2007. — Vol. 115. — P. 877–884.
19. Mago R. Development of PCR markers for the selection of wheat stem rust resistance genes *Sr24* and *Sr26* in diverse wheat germplasm / R. Mago, H. S. Bariana, E. I. S. Dundas, W. Spielmeyer [et al.] // Theoretical and Applied Genetics. — 2005. — Vol. 111. — P. 496–504.
20. Weng Y. PCR-based markers for detection of different sources 1AL. 1RS and 1BL. 1RS wheat-rye translocations in wheat background / Y. Weng, P. Azhaguvel, R. N. Devkota, J. C. Rudd // Plant Breeding. — 2007. — V. 126. — P. 482–486.
21. Naik S. Identification of a STS marker linked to the *Aegilops speltoides*-derived leaf rust resistance gene *Lr28* in wheat / S. Naik, V. S. Gill, V. S. P. Rao, V. S. Gupta [et al.] // Theoretical and Applied Genetics. — 1998. — V. 97. — P. 535–540.
22. Lagudah E. S. Molecular genetic characterization of the *Lr34/Yr18* slow rusting resistance gene region in wheat / E. S. Lagudah, H. McFadden, R. P. Singh,

- J. Huerta-Espino [et al.] // Theoretical and Applied Genetics. — 2006. — Vol. 114. — P. 21–30.
23. Dadkhodaie N. A. Mapping genes *Lr53* and *Yr35* on the short arm of chromosome 6B of common wheat with microsatellite markers and studies of their association with *Lr36* / N. A. Dadkhodaie, H. Karaoglou, C. R. Wellings, R. F. Park // Theoretical and Applied Genetics. — 2011. — V. 122(3). — P. 479–487.
24. Bulos M. Occurrence of the rust resistance gene *Lr37* from *Aegilops ventricosa* in Argentine cultivars of wheat / M. Bulos, M. Echarte, G. Sala // Electronic Journal of Biotechnology. — 2005. — Vol. 9, No. 5. — P. 580–586.
25. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий — М.: Колос, 1973. — 327 с.
26. Штубей Т. Ю. Цитофизиологические аспекты возрастной устойчивости мягкой пшеницы к возбудителю бурой ржавчины *Puccinia triticina* Erikss: автореф. дис. ... к. б. н. — Москва, 2009. — 24 с.
27. Marshall D. Virulence of *Puccinia recondita* in Texas from 1988 to 1990 / D. Marshall // Plant Disease. — 1992. — 76. — P. 296–299.
28. Winzeler M. Resistance of European winter wheat germplasm to leaf rust / M. Winzeler, A. Mesterhazy, R. F. Park [et al.] // Agronomie. — 2000. — Vol. 20. — P. 783–792.
29. Rayburn A. L. Inheritance of a 1BL/1RS wheat-rye translocated chromosome in wheat / A. L. Rayburn, D. W. Mornhinweg // Crop Sci. — 1988. — V. 28, № 4. — P. 709–711.
30. Козуб Н. А. Особенность расщепления по аллелям глиаданкодирующего локуса Gli-B1 у гибридов озимой мягкой пшеницы / Н. А. Козуб, И. А. Созинов // Цитология и генетика. — 2000. — 34, № 2. — С. 69–76.

Надійшла 22.12.2016

UDC 575.22:631.523.11:633.111.1:632.4

Galaev A. V. Plant Breeding and Genetics Institute — National Center of Seed and Cultivar Investigations

EFFECTIVENESS OF DIFFERENT RESISTANCE GENES TO LEAF RUST AND THEIR COMBINATIONS IN INTERLINE HYBRIDS OF SPRING BREAD WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) IN SOUTH UKRAINE

The effect of genes for resistance to leaf rust has been explored in South Ukraine by the examples of common wheat cv. Thatcher (Tc) and its near-isogenic lines TcLr9, TcLr10, TcLr14a, TcLr19, TcLr20, TcLr21, TcLr22a, TcLr24, TcLr26, TcLr28, TcLr34, TcLr36, TcLr37 in the period from 2013 to 2016. Genes Lr9, Lr19, Lr24 are effective, Lr20, Lr21, Lr26, Lr28, Lr36, Lr37 — moderately effective, Lr10, Lr14a, Lr22a, Lr22b — ineffective. Gene Lr34 is temperature dependent and effective only at a mean daily temperature not above 20 °C. The main Lr genes in different combinations can both enhance and suppress resistance. 29 homozygous isogenic line with different combinations of two genes for resistance to leaf rust selected by molecular markers.

УДК 575.22:631.523.11:633.111.1:632.4

Галаев А. В. Селекционно-генетический институт — Национальный центр семеноведения и сортоизучения

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗНЫХ ГЕНОВ УСТОЙЧИВОСТИ К БУРОЙ
РЖАВЧИНЕ И ИХ КОМБИНАЦИЙ В МЕЖЛИНЕЙНЫХ ГИБРИДАХ
ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) В УСЛОВИЯХ
ЮГА УКРАИНЫ**

Эффективность генов устойчивости пшеницы к бурой ржавчине изучали в условиях Юга Украины с использованием сорта *Thatcher* (*Tc*) и его 13 почти изогенных линий *TcLr9*, *TcLr10*, *TcLr14a*, *TcLr19*, *TcLr20*, *TcLr21*, *TcLr22a*, *TcLr24*, *TcLr26*, *TcLr28*, *TcLr34*, *TcLr36*, *TcLr37* в период с 2013 по 2016 гг. Гены *Lr9*, *Lr19*, *Lr24* были эффективными, *Lr20*, *Lr21*, *Lr26*, *Lr28*, *Lr36*, *Lr37* — среднеэффективными, *Lr10*, *Lr14a*, *Lr22a*, *Lr22b* — неэффективными. Ген *Lr34* является температурнозависимым и эффективным только при среднесуточной температуре воздуха не выше 20 °С. Главные *Lr* гены в различных комбинациях могут как усиливать, так и подавлять устойчивость. С помощью молекулярных маркеров отобрано 29 гомозиготных изогенных линий с различными комбинациями двух генов устойчивости к бурой ржавчине.

БІОХІМІЯ

УДК 631.52: 633.367.3

К. П. БРОДЕЦЬКА, наук. співроб.,
О. М. БРОДЕЦЬКА, мол. наук. співроб.,
Г. І. БАБЕНКО, мол. наук. співроб.
Українська лабораторія якості і безпеки продукції АПК
e-mail: k_brodecka@ukr.net

ПОКАЗНИКИ КОРМОВОЇ ЦІННОСТІ ЗЕЛЕНОЇ МАСИ РІЗНИХ МОРФОТИПІВ БІЛОГО ЛЮПИНУ (*LUPINUS ALBUS L.*)

Наведені результати досліджень за біохімічним складом та формуванням елементів продуктивності зеленої маси у різних морфотипів колекційних сортозразків люпину білого. Виявлено, що середньоросла група рослин є більш перспективною за біохімічним складом зеленої маси, оскільки відрізняється підвищеним вмістом протеїну, жиру і клітковини у порівнянні з низькорослою та високорослою групами.

Ключові слова: люпин білий, морфотипи, зелена маса, біохімічний склад, процентне співвідношення, сортозразки, елементи продуктивності.

Вступ. Проблема виробництва харчового та рослинного білка гостро стоїть у багатьох країнах світу, і вирішення потребує комплексного підходу. Це — підвищення білковості культур та їхньої врожайності, зменшення втрат при збиранні, сучасні технології переробки та зберігання, правильний підбір видів культур для зони, сортів тощо.

Один із основних шляхів збільшення виробництва рослинного білка — це розширення посівів високобілкових культур за рахунок зміни структури посівних площ всередині груп культур. Однією з них є люпин.

За вмістом білка в зерні люпин посідає перше місце серед сільськогосподарських культур. Його кормова цінність визначається хімічним складом насіння і зеленої маси. У насінні міститься 33–50 % білка, 25–40 % безазотистих екстрактивних речовин, 4,5–9,5 % жиру, 3,5–4,2 % золи. В 100 кг зерна міститься понад 100 кормових одиниць і 290–367 г перетравного протеїну на одну кормову одиницю. За вмістом білка 1 ц зерна люпину прирівнюється до 4–5 ц зерна ячменю або 5–6 ц кукурудзи, що є свідченням високої цінності насіння люпину як компонента при виробництві збалансованих за протеїном концентрованих комбікормів.

Зелену масу люпину використовують у вигляді зеленого корму, силову, сіна, трав'яного борошна. Зелена маса багата на білок (до 15 %),

вітаміни А, С і мінеральні речовини. 100 кг зеленої маси відповідає 14–15 кормовим одиницям із вмістом на 1 корм. од. 150–160 г перетравного протеїну.

Вивченням біології, технології вирощування і створенням кормових сортів люпину займаються: Інститут землеробства УААН, Інститут землеробства і тваринництва західного регіону УААН, Чернігівська, Поліська, Житомирська, Волинська державні дослідні станції та ін. Останнім часом створено нові сорти безалкалоїдного кормового люпину, які широко впроваджують у виробництво.

Зерно безалкалоїдних люпинів містить 0,0025, а малоалкалоїдних — 0,03–0,1 % алкалоїдів. Ці дві групи люпину вважають кормовими, бо їх можна згодовувати тваринам. Що менший вміст алкалоїдів і більше білка та жиру в насінні люпину, то вища його кормова цінність.

Посіви люпину зосереджені переважно у поліських районах України. На великих площах його висівають у Нечорноземній зоні Російської Федерації, в країнах Балтії та в Білорусі. Площа посівів кормового люпину в Україні — близько 250 тис. га.

Винятково важливе значення люпину як однієї з найкращих сидеральних культур. Він відіграє важливу роль у покращенні родючості ґрунтів. Переваги люпину, як культури на зелене добриво, визначаються його високою азотфіксуючою здатністю. При заорюванні 350 ц/га зеленої маси ґрунт збагачується на 180–200 кг/га екологічно чистого симбіотичного азоту та на 35–40 т/га органічної речовини, що робить його цінним попередником для наступних культур сівозміни [1–3].

Мінливість морфологічних ознак білого люпину вивчено недостатньо, це спонукає до проведення досліджень з формування елементів продуктивності різних морфотипів у вихідного селекційного матеріалу, саме тому **метою** наших досліджень було виділення вихідного селекційного матеріалу білого люпину з ознаками високої продуктивності зеленої маси на основі використання різних морфотипів гілкування колекції.

Умови та методи досліджень. Польові досліді проводили у дослідно-насінницькому господарстві «Чабани», на темно-сірих підзолистих ґрунтах без внесення мінеральних добрив. Основний та передпосівний обробітки — за прийнятою технологією. Сіяли рядковим способом з шириною міжрядь 45 см.

Визначали елементи продуктивності у відповідності з методичними вказівками (Міжнародний класифікатор СЗВ роду *Lupinus L.*) [4].

Структура врожайності сортотразків визначалася методом пробного снопа у 30 рослин за такими показниками: висота рослин, висота до центральної китиці, довжина центральної китиці, довжина пагонів 1 і 11 порядку, маса рослини, маса бобів з усієї рослини, з центральної китиці, з бічних пагонів, кількість бобів з усієї рослини, з центральної китиці, з бічних пагонів.

У лабораторії агроекології і аналітичних аналізів методом інфрачервоної спекторметрії на інфрачервоному аналізаторі NIR Systems 4500 визначали вміст протеїну, жиру, клітковини, золи, гігроскопічної вологи в стеблї, листях, бобах [5].

Результати та обговорення. За результатами вивчення 120 сортозразків було виділено 30 перспективних, які розділили на три морфотипи.

Проведений аналіз структури зеленої маси колекційних сортозразків у ваговому вимірі дав можливість виявити продуктивність рослин по усіх морфотипах.

Рослини, які входять у низькорослу групу, мають (у середньому) висоту 72 см, середньорослі — на 14,4 % вищі, а високорослі — вищі на 30,9 %. Отже вони правильно розподілені на групи.

Рослини всіх трьох груп придатні для комбайнового збирання, оскільки висота до центральної китиці низькорослої групи 36 см, у середньорослої та високорослої на 14 та 23 см вищі.

Білий люпин особливо цінний для вирощування зеленої маси. Він здатний формувати високі врожаї з найбільшим відсотком бобів (46–58 %) у зеленій масі. Він також формує велику кількість надземної маси, яка досягає 500–600 ц/га, а за сприятливіших умов — і 800–900 ц/га. Максимальної листової поверхні сортозразки білого люпину досягають у фазу повного цвітіння. Сформувавши певну листову поверхню, білий люпин доволі довго утримує її на однаковому рівні і нагромаджує чимало асимілянтів у зеленій масі та насінні. Максимум зеленої маси та сухої речовини, а також кормових одиниць і сирого протеїну в основній та побічній продукції при збиранні на зелену масу припадає на кінець фази зерноутворення. Облік урожаю зеленої маси ми проводили саме в цю фазу розвитку люпину.

Аналіз структури зеленої маси колекційних сортозразків у фазу сизого бобика у ваговому вимірюванні дав можливість дослідити продуктивність усіх морфотипів культури (табл. 1).

При дослідженні структури урожаю зеленої маси вивчалась урожайність з однієї рослини, відсоткове співвідношення листків, стебел, бобів з одиниці площі.

Нами був проведений аналіз структури зеленої маси колекційних сортозразків у ваговому вимірі (табл. 1). Досліджуючи врожай зеленої маси, ми вивчали врожайність з однієї рослини, відсоткове відношення листків, стебел, бобів з одиниці площі м^2 (%) (рис.).

По групі низькорослих рослин врожайність зеленої маси однієї рослини в середньому становила 249 г, максимальне значення — 363, мінімальне — 144 г, у стандарту «Пищевой» — 282 г. Найбільша врожайність зеленої маси була у сортозразків: Л. 80/91 (Україна) — 363, Л. 71/26 (Україна) — 311, Л. 34/23 (Україна) — 306, Л. 127/4 (Україна) — 303 г. Середнє значення по низькорослій групі у відсотковому співвідношенні складало 28,1 % стебла, 33,3 — листя, 38,6 — боби (рис.).

Таблиця 1

Структурний аналіз зеленої маси колекційних сортотразків білого люпину

Морфотип	Маса зеленої маси з рослини						
	з однієї рослини	стебла		листя		боби	
		г	%	г	%	г	%
Низькорослі (60–80 см)							
«Пищевой», ст.	282	79,4	28,0	43,9	16,0	159	56,0
Середнє	249	71,0	28,1	84,0	33,3	95,0	38,6
Середньорослі (80–100 см)							
Олежка, ст.	304	76,9	25,0	117	38,0	110	37,0
Середнє	291	85,0	25,7	112	38,8	104	35,4
Високорослі (100–120 см)							
К-2298, ст.	255	98,8	39,0	85,6	34,0	71,0	27,0
Середнє	294	102	36,1	97,0	32,2	95,1	31,7

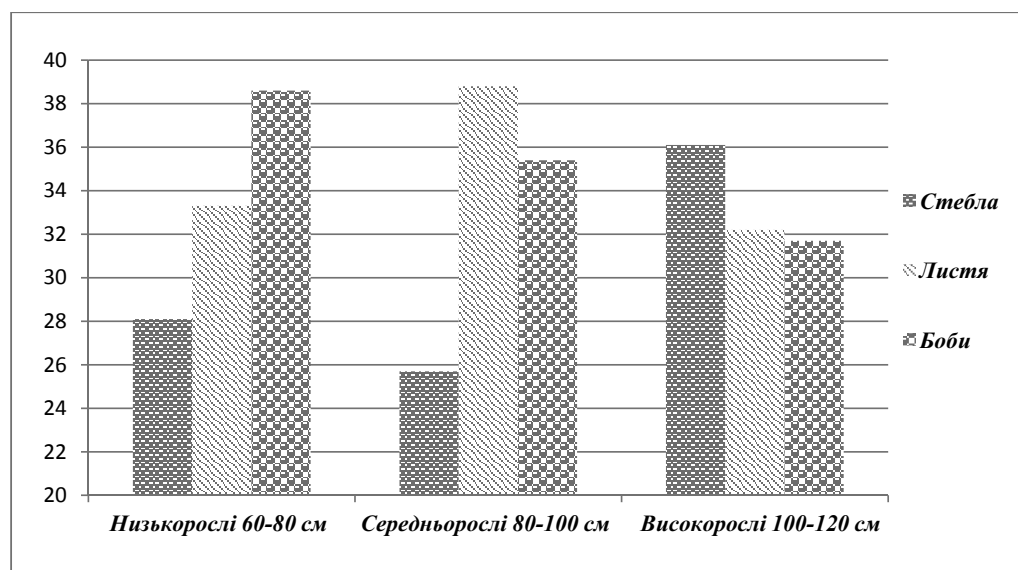


Рис. Відсоткове відношення маси листків, стебел, бобів колекційних сортотразків білого люпину з одиниці площі

Стандарт Олежка із групи середньорослих сортотразків дав урожай зеленої маси 304 г з рослини, середня врожайність по цій групі середньорослих рослин становила 291 г з рослини; максимальне значення — 378 г, мінімальне — 195 г. За найвищою продуктивністю зеленої маси стандарт перевищили такі сортотразки: Л. 144/23 (Україна) — 378 г; к-2239 (Днепр, Україна) — 326; к-2810 (РІ 170528, Польща) — 352; Л. 204/54 (Україна) — 323. За результатами структурного аналізу у відсотковому співвідношенні середнє значення у середньорослої групи рослин склало 25,7, 38,8 — листя, 35,6 % — боби.

Стандарт к-2298 з групи високорослих рослин дав урожай зеленої маси 255 г з рослини, максимальне значення — 440, мінімальне — 181 г.

Найвищу продуктивність зеленої маси цим показником перевищили сортозразки: к-2642 (Мутант, Росія) — 440 г; Л. 55/7 (Україна) — 387; Л. 209/56 (Україна) — 350; к-1539 (*Bialy srednipozny*, Польща) — 353. Стебло цієї групи становило 36,1, листя — 32,2, боби — 31,7 % від загальної маси.

Таблиця 2

Біохімічний склад зеленої маси колекційних сортозразків люпину білого різних морфотипів

Морфотип	Протеїн, %	Жир, %	Клітковина, %	Зола, %	P ₂ O, %	K ₂ O, %
Низькорослі (60–80 см)						
Стебло						
«Пищевой», ст.	7,54	2,32	38,03	4,01	0,56	1,16
Середнє	7,55	2,05	38,90	4,61	0,68	1,95
Листя						
«Пищевой», ст.	22,33	5,79	16,32	8,69	0,56	0,94
Середнє	21,60	4,98	16,70	8,95	0,48	0,79
Боби						
«Пищевой», ст.	20,30	3,87	23,34	5,61	0,47	0,98
Середнє	17,82	3,93	23,21	6,12	0,53	1,15
Середньорослі (80–100 см)						
Стебло						
Олежка, ст.	9,02	3,01	38,70	4,15	0,62	1,71
Середнє	9,31	2,88	39,98	4,70	0,59	1,82
Листя						
Олежка, ст.	21,75	4,85	18,04	8,31	0,49	0,85
Середнє	21,97	5,05	18,62	8,39	0,44	0,66
Боби						
Олежка, ст.	11,87	4,20	23,59	3,77	0,45	0,90
Середнє	19,36	4,23	24,83	5,10	0,51	1,05
Високорослі (100–120 см)						
Стебло						
К-2298, ст.	9,04	2,54	37,43	3,82	0,58	2,08
Середнє	8,54	3,46	36,59	5,11	0,55	1,75
Листя						
К-2298, ст.	21,45	4,70	17,98	8,41	0,46	0,80
Середнє	21,53	4,94	17,94	8,60	6,25	0,42
Боби						
К-2298, ст.	19,07	4,14	23,41	3,80	0,46	1,18
Середнє	18,94	4,01	23,36	5,33	0,46	1,02

З результатів досліджень можна зробити висновок: перспективною і якісною для вирощування на зелену масу є середньоросла група, яка формує найбільшу продуктивність зеленої маси за рахунок листя і бобів — 38,8 % листя, 35,4 — бобів порівняно з високорослою, яка формує більше стебла — 36,1 %.

Найбільшу цінність у люпині складають білок і жир. Білок люпину за вмістом незамінних амінокислот і біологічною цінністю прирівнюється до найбільш цінного білка сої. До його складу входять 10 незамінних амінокислот, у тому числі аргінін (3,6), валін (4,3), гістидин (2,9), лізин (4,3), лейцин (9,8) та ін.

Визначення біохімічного складу зеленої маси люпину ми проводили у фазу зелених бобів (табл. 2).

За результатами досліджень було зауважено, що найбільше протеїну в стеблах та листках мали рослини середньої групи — 9,3 та 21,9 % відповідно. Група середньорослих рослин також була якісною за вмістом протеїну в бобах — 19,3 %. Найбільший відсоток жиру в стеблах рослин мала високоросла група — 3,46 %. За вмістом жиру в листі і бобах кращою була середньоросла група, де в середньому відсоток жиру становив 5,05 % в листі та 4,23 % у бобах. Середньоросла група відзначилася найбільшим відсотком клітковини в стеблах і бобах відповідно 39,9 та 24,8 %.

Висновки. Отже, можна зробити такі висновки: середньоросла група рослин є більш якісною і перспективною за біохімічним складом зеленої маси, оскільки вирізняється підвищеним вмістом протеїну, жиру і клітковини у порівнянні з низькорослою та високорослою групами.

Найвищу продуктивність зеленої маси формують рослини середньорослої групи за рахунок найбільшого у них проценту листя і бобів порівняно з рослинами низькорослої та високорослої груп.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Антоній А. К. Зернобобові культури на корм і насіння / А. К. Антоній, А. П. Пиллов. — Л. : Колос, 1980. — 75 с.
2. Chan K. Y. Effects of lupine on soil properties and wheat production / K. Y. Chan, D. P. Heenan // Aust. J. Agric. Res. — 1993. — Vol. 4. — P. 1971–1984.
3. Reeves T. G. Effect of lupine wheat rotations on soil fertility, crop disease and crop yields / T. G. Reeves, A. Ellington, H. D. Brooke // Austr. J. Exp. Agric. Anim. Husb. — 1984. — № 24. — P. 595–600.
4. Международный классификатор СЭВ роду *Lupinus* L. — 1983. — С. 35–37.
5. Лісовал А. П. Агрохімія / А. П. Лісовал, У. М. Давиденко, Б. М. Мойсеєнко. — Київ: Вища школа, 1984. — С. 130–132.

Надійшла 24.05.2016

UDC 631.52;633.367.3

Brodetska K. P., Brodetska E. M., Babenko G. I. Ukrainian laboratory of quality of products of Agro-industrial complex

FEEDING VALUE INDEXES OF GREEN MASS OF DIFFERENT MORPHOTYPES OF WHITE LUPIN (*LUPINUS ALBUS* L.)

The resulted results of researches after biochemical composition and forming of elements of the productivity of green mass for different morfotipov of collection standards of white lupin. It is discovered that a grew middling group of plants is the best after biochemical composition, because differs enhanceable maintenance of protein, fat and cellulose, by comparison to undersized and grew highly groups.

УДК 631.52;633.367.3

Бродецкая Е. П., Бродецкая Е. М., Бабенко Г. И. Украинская лаборатория качества продукции АПК

ПОКАЗАТЕЛИ КОРМОВОЙ ЦЕННОСТИ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ РАЗНЫХ МОРФОТИПОВ БЕЛОГО ЛЮПИНА (*LUPINUS ALBUS* L.)

Приведены результаты исследований по биохимическому составу и формированию элементов продуктивности зеленой массы у разных морфотипов коллекционных образцов люпина белого. Установлено, что среднерослая группа растений является более перспективной по биохимическому составу, так как отличается повышенным содержанием протеина, жира и клетчатки в сравнении с низкорослой и высокорослой группами.

УДК (581.19+577.127.4):(635.074+633.34):632.7

И. В. ХОДАКОВ, науч. сотруд.

ГУ «Институт стоматологии НАМН Украины», Одесса

e-mail: hodakovigor@gmail.com

СВЯЗЬ ПОВРЕЖДЕНИЙ СОИ (*GLYCINE MAX* L.) ЛИСТОГРЫЗУЩИМИ НАСЕКОМЫМИ С НАКОПЛЕНИЕМ ФЛАВОНОИДОВ В РАСТЕНИЯХ

Исследовали состав и содержание полифенолов в листьях сои сортов Берегиня, Данко в фазе налива бобов, поврежденных грызущими насекомыми, и сортов Васильковская, Сяйво и Фарватер с листьями без повреждений. Отсутствие повреждений на листьях устойчивых сортов сочетается с достоверно повышенным (в 3,3 раза) содержанием 12 флавоноидов, 6 из которых — гликозиды флавонолов, 3 — гликозиды флавонов апигенина и лютеолина, 3 — катехины. Среди флавоноидов преобладал флавонол рутин (кверцетин-3-О-рутинозид) — 9,309–20,180 мг/г (в среднем 45,4 % от общей массы полифенолов). Доля флавонолов составила 91,7, флавонов 6,4 и катехинов 1,9 %. Расчетный вклад рутина в общий эффект выявленного комплекса флавоноидов — $57,8 \pm 19,3$ %. Значительное накопление отдельных флавоноидов в листьях, прежде всего рутина, может определять устойчивость сои к листогрызущим насекомым.

Ключевые слова: соя, полифенолы, флавоноиды, флавонолы, рутин, устойчивость к листогрызущим насекомым.

Введение. Повреждение листовых пластинок взрослыми насекомыми или их личинками приводит к снижению эффективности фотосинтеза из-за уменьшения площади листьев и изменению метаболизма растений под действием веществ, выделяющихся со слюной насекомых, что в результате приводит к снижению урожайности растений. Одной из форм защиты растений от насекомых является накопление вторичных метаболитов в тканях листьев для отпугивания или ингибирования развития насекомых, определенный период жизненного цикла которых привязан к растению-хозяину [1]. Многочисленными представителями вторичных метаболитов, встречающимися во всех тканях растений, являются флавоноиды — обширная группа полифенолов C_6 — C_3 — C_6 — ряда, основой молекул которых является трицикл флавана. Одна из важнейших функций флавоноидов — защита растений от биотических и абиотических факторов стресса [2]. Синтез флавоноидов может индуцироваться при повреждении листьев вредителями или быть конститутивным, т. е. независимым от воздействия насекомыми [3]. Устойчивость растений

к отдельным видам насекомых детерминирована генетически [4] и обусловлена определенным составом флавоноидов в тканях растения, формирующим его хемотип [5]. Разнообразие листовых хемотипов растений обеспечивается комбинациями множества гликозидных форм очень небольшого количества агликонов флавоноидов — преимущественно флавонолов кверцетина, кемпферола, изорамнетина, мирицетина и флавонов лутеолина и апигенина [6].

Известно, что сорта сои различаются по устойчивости к отдельным видам вредителей [7; 8]. В основе разнообразных механизмов их защиты — высокая вариабельность флавоноидных хемотипов. Известно не менее 16 хемотипов сои по составу флавонолов в листьях, часть из которых представлена только гликозидами кемпферола, часть — смесью гликозидов кемпферола и кверцетина, при этом хемотипы формируются на основе различных комбинаций 9 гликозидов кемпферола и 10 кверцетина [9]. В отдельных генотипах сои выявлены также гликозиды изорамнетина [10]. Высокая концентрация отдельных флавоноидов в тканях растений, детерминированная генетически, может определять устойчивость растений к биотическим факторам [11].

Цель: исследовать влияние состава и содержания полифенолов в листьях сои сортов украинской селекции на устойчивость растений к воздействию листогрызущих насекомых.

Материалы и методы. Для исследования использовали листья сои сортов Берегиня, Данко, Сяйво, Васильковская и Фарватер. Материал собирали в конце июля 2013 г. в фазе налива бобов. В данной фазе вегетации на листовых пластинках сортов Берегиня и Данко было отмечено появление повреждений в виде сквозных отверстий, проделанных грызущими насекомыми. На листьях остальных сортов повреждения отсутствовали. В последующем изложении результатов исследования перечисленные сорта по признакам отсутствия и наличия повреждений листовых пластинок фигурируют как устойчивые и неустойчивые к насекомым-вредителям.

Экстракты из высушенных и измельченных листьев готовили путем настаивания на 60 %-м водном растворе изопропанола из расчета 1 г на 20 мл экстрагента в течение 5 суток в соответствии с [12]. Анализ экстрактов проводили методом ВЭЖХ на хроматографической системе Shimadzu (Япония) с использованием обращенно-фазовой колонки Microsorb — MV C18 (длина 150 мм, диаметр 4,6 мм, зерно сорбента 5 мкм). Элюент — система метанол и 0,9 %-й водный раствор фосфорной кислоты. Режим хроматографирования — градиентный. Идентификацию веществ в исследуемых экстрактах проводили путем сравнения времени удерживания и спектральных характеристик исследуемых веществ с аналогичными характеристиками стандартов. Спектральные характеристики веществ и степень сходства их со стандартами определяли по результатам сканирования экстрактов при 225, 255, 286 и

350 нм по методу [13]. Для точной идентификации веществ или определения принадлежности их к отдельным группам флавоноидов использовали следующие внешние стандарты: хлорогеновая и кофейная кислоты, катехин, флавонолы кверцетин, рутин и мирицетин, флаваноны нарингенин, нарингин и гесперетин, гесперидин, флавоны лютеолин и апигенин, изофлавоны дайдзин, дайдзеин, генистин и генистеин (Sigma-Aldrich, США). Принадлежность веществ, время удерживания которых отличалось от стандартных, к отдельным группам полифенолов определяли на основе положения о сходстве спектральных характеристик веществ, относящихся к конкретной группе [13–16]. Определение содержания веществ с установленной принадлежностью к конкретным группам флавоноидов проводили с использованием стандартов, степень сходства с которыми была наибольшая, с учетом химической формы вещества (агликон, гликозид). Вещества, степень сходства которых с каким-либо стандартом была ниже 70 %, относили к группе неидентифицированных, а их содержание определяли по стандартам, степень сходства с которыми была наибольшая. Общее количество полифенолов определяли суммированием содержания веществ, выявленных в диапазоне пиков флавоноидов и фенольных кислот. Хроматографический анализ выполнялся в трех повторностях для каждого сорта. Статистическую обработку результатов проводили на основе общепринятых математических методов с применением *t*-критерия Стьюдента.

Какое-либо вещество рассматривали в качестве фактора, участвующего в формировании защитных свойств листьев сои, руководствуясь следующим критерием:

- 1) вещество обязательно присутствует в листьях устойчивых сортов, но может отсутствовать в неустойчивых;
- 2) содержание вещества во всех устойчивых сортах достоверно выше, чем в неустойчивых.

При помощи данного критерия могут быть выявлены не одно, а комплекс веществ, относимых к разным группам полифенолов. В таком случае следует подразумевать, что каждое вещество такого комплекса может вносить свой определенный вклад в защитные свойства листьев. Величину возможного вклада каждого из веществ в общий эффект выявленного комплекса авторы предлагают считать пропорциональным величине разницы между средними уровнями этого вещества в устойчивых и неустойчивых сортах. Т. е., чем значительнее колебание содержания какого-либо вещества в сортах с разной устойчивостью, тем выше может быть значимость свойств этого вещества в защите листьев сои от насекомых.

Последний пункт предложенного критерия предполагает, что диапазоны выборочных значений содержания вещества в устойчивых сортах достоверно не пересекаются с аналогичными показателями в неустой-

чивых. Следовательно, критерием достоверного различия диапазонов значений содержания вещества в листьях устойчивых и неустойчивых сортов можно считать статистически значимое различие между наибольшим средним значением в листьях неустойчивых сортов и наименьшим в листьях устойчивых при условии, что содержание вещества во всех устойчивых сортах выше, чем в неустойчивых.

Результаты и обсуждение. В листьях сои среди полифенолов было выявлено 13 фенольных кислот, среди них хлорогеновая и кофейная кислота, 59 флавоноидов и 12 неидентифицированных полифенолов. Среди флавоноидов: 20 катехинов; 23 флавонола, среди них кверцетин, рутин, 2 гликозида мирицетина и 19 неидентифицированных гликозидов кверцетина, кемпферола и изорамнетина; 3 неидентифицированных гликозида флаванонов; 7 флавонов, среди них апигенин, 3 гликозида апигенина и 3 гликозида лютеолина; 3 изофлавоноподобных вещества, среди них дайдзин. На рисунке представлен усредненный состав полифенолов в листьях устойчивых и неустойчивых сортов. Основная масса полифенолов представлена флавонолами — до 85,34, фенольными кислотами — до 8,12, катехинами — до 5,86 и флавонами — до 5,00 % от общей массы. Общее содержание полифенолов в листьях исследованных сортов сои составило 26,891–39,968 мг/г, при этом разница между средним уровнем полифенолов в устойчивых и неустойчивых сортах не достоверна.

В таблице 1 приведен статистический анализ содержания полифенолов для выявления роли накопления отдельных групп полифенолов в формировании защитных свойств листьев сои. Анализ сходства крайних средних показателей содержания полифенолов (наибольшего для неустойчивых сортов и наименьшего для устойчивых) выявил достоверно повышенное содержание только одной группы флавоноидов — флавонов — в листьях всех устойчивых сортов в среднем в 3,4 раза по сравнению с листьями неустойчивых сортов (рис.). На основе данного анализа можно предположить, что повышенное накопление флавонов в листьях может являться одним из факторов устойчивости сортов сои к насекомым.

Предполагали также возможный вклад в защитные свойства листьев отдельных веществ из других групп полифенолов, колебание содержания которых в сортах с разной устойчивостью может значительно превышать уровень флавонов. Поэтому исследовали состав каждой группы, так как возможно, что повышение содержания одних веществ из какой-либо группы компенсируется снижением содержания других веществ из этой же группы в силу сортовой особенности синтеза полифенолов без существенного изменения общего содержания группы.

В ходе анализа среди катехинов выявлено три вещества, содержание которых было достоверно выше во всех устойчивых сортах. Из них два обнаружены только в устойчивых сортах.

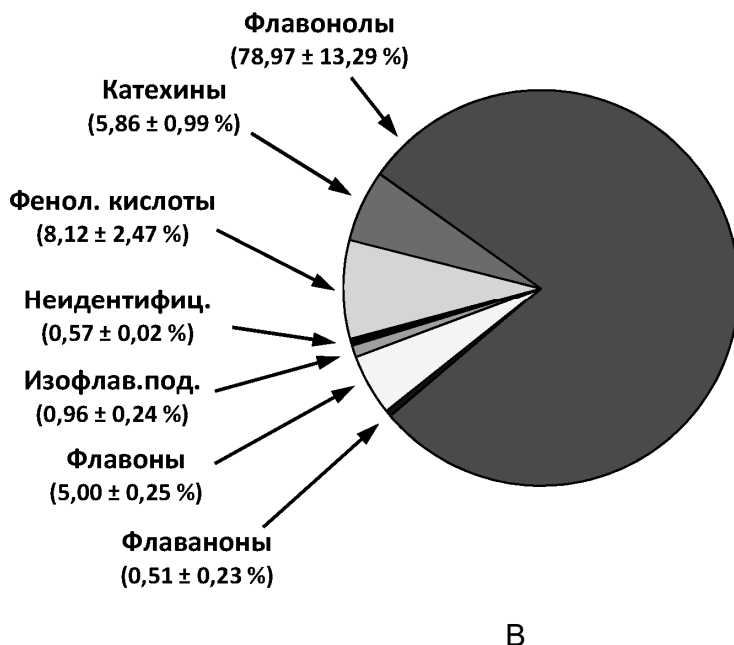
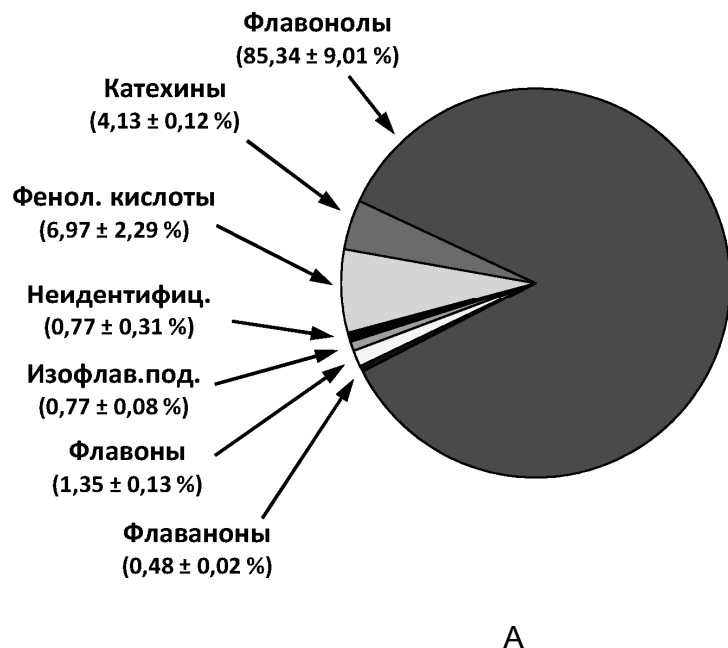


Рис. Относительный состав полифенолов в листьях сортов сои неустойчивых (А) и устойчивых (В) к листогрызущим насекомым

Среди флавонов выявлено 3 вещества, содержание которых было достоверно выше в листьях всех устойчивых сортов. Из них два идентифицированы как гликозиды лютеолина, одно — как гликозид апигенина. Одно обнаружено только в листьях устойчивых сортов.

Таблица 1

Состав полифенолов в листьях сортов сои с разной устойчивостью к
листогрызущим насекомым в фазе налива бобов

Группа полифенолов	Диапазон средних значений (мкг/г)*		t
	неустойчивые сорта	устойчивые сорта	
Фенольные кислоты	1668,2 ± 22,1 — 3299,6 ± 27,9	1679,2 ± 21,7 — 3672,6 ± 26,7	–45,78
Катехины	1429,2 ± 25,3 — 1512,2 ± 19,2	1511,0 ± 20,7 — 2350,8 ± 20,9	–0,04
Флаванолы	27201,4 ± 132,1 — 33621,0 ± 133,4	20651,6 ± 109,7 — 31372,2 ± 129,8	–75,09
Флаваноны	161,8 ± 7,3 — 179,2 ± 8,0	72,4 ± 3,2 — 261,8 ± 9,9	–12,33
Флавоны	434,2 ± 11,7 — 530,2 ± 11,0	1545,8 ± 14,7 — 2114,8 ± 15,3	55,47***
Изофлавоноподобные	246,2 ± 9,2 — 305,4 ± 7,7	215,8 ± 6,4 — 413,8 ± 8,9	–8,99
Неидентиф.	165,2 ± 8,4 — 386,0 ± 8,2	181,8 ± 6,1 — 259,4 ± 7,2	–19,96
Сумма полифенолов	31306,2 ± 148,8 — 39967,8 ± 139,1	26890,8 ± 128,3 — 38984,8 ± 136,8	–69,10

t — критерий Стьюдента, анализ сходства максимального среднего показателя в неустойчивых сортах и минимального в устойчивых. Отрицательный знак указывает на пересекаемость диапазонов показателей устойчивых и неустойчивых сортов; *** — достоверное различие крайних средних ($p < 0,001$); * — содержание на массу сухих листьев; неидентиф. — неидентифицированные полифенолы.

Среди флавонолов выявлено 6 веществ, содержание которых было достоверно выше в листьях всех устойчивых сортов. Одно из них идентифицировали как рутин (кверцетин-3-О-рутинозид), содержание которого среди выявленных флавонолов было наибольшим: 9,309–20,180 мг/г в листьях устойчивых сортов против 2,632–5,910 мг/г у неустойчивых. Наименьшее содержание рутина у сорта Берегиня, наибольшее — у Васильковской. Еще один флавонол обнаружен только в устойчивых сортах. Среди остальных флавонолов два идентифицировали как гликозиды мирицетина. Кверцетин выявили только в сортах Берегиня и Васильковская в очень незначительных концентрациях — 21,0 и 27,4 мкг/г соответственно, и его роль в формировании устойчивости сои к насекомым не исследовали из-за редкой встречаемости в сортах. Произвести более точную идентификацию флавонолов, учитывая близкое сходство спектральных характеристик кверцетина, кемпферола, изорамнетина и их гликозидов [14–16], данный метод анализа не позволил.

Среди фенольных кислот, флаванонов, изофлавонов и неидентифицированных веществ не обнаружено ни одного вещества, содержание которого в листьях всех устойчивых сортов было бы достоверно выше.

Таким образом, в ходе анализа полифенолов листьев сои выявлен комплекс из 12 флавоноидов (6 флавонолов, 3 флавона и 3 катехина) (табл. 2). Содержание каждого из этих флавоноидов в листьях всех устойчивых сортов было достоверно выше любого аналогичного показателя в неустойчивых сортах ($p < 0,001$), что дает основание предполагать участие этих флавоноидов в формировании устойчивости сои к листогрызущим насекомым. Из этого комплекса 4 флавоноида присутствуют только в устойчивых сортах. Содержание выявленного комплекса флавоноидов в листьях устойчивых сортов выше в среднем на $18,399 \pm 3,789$ мг/г (в 3,3 раза), чем в листьях неустойчивых. Доля массы флавонолов в данном комплексе 91,7, флавонов 6,4, катехинов 1,9 %. Доля одного из флавонолов — рутина — 56,3 % (в среднем 45,4 % от общей массы полифенолов).

Вклад каждого из флавоноидов оценили по доле его участия в увеличении общего содержания выявленного комплекса флавоноидов в устойчивых сортах по сравнению с аналогичным показателем в неустойчивых. В таблице 2 показано, что различие в содержании рутина в устойчивых и неустойчивых сортах значительно превышает разницу содержания других флавоноидов из выявленного комплекса и составляет $10,643 \pm 3,544$ мг/г. В выделенном комплексе флавоноидов группа флавонолов обеспечивает подавляющую часть отличий — 91 % в содержании веществ выявленного комплекса в растениях с разной устойчивостью; на флавоны приходится 7 % отличий в содержании, вклад катехинов всего около 2 %. Доля предполагаемого участия рутина в общем эффекте выявленных флавоноидов в формировании устойчивости растений к насекомым $57,84 \pm 19,26$ %. Содержание рутина в листьях не менее $9,039 \pm 0,032$ мг/г, отмеченное в данном исследовании, может являться основным фактором устойчивости сои к насекомым-вредителям.

Данные литературы свидетельствуют, что устойчивость растений к насекомым-дефолиаторам может обеспечиваться высоким содержанием рутина в листьях. Так, сорта сои, устойчивые к личинкам бабочек с генотипом PI 227687 и PI 274454, характеризуются повышенным содержанием рутина [17; 18]. При этом действие чистого рутина и экстракта из бобов сои генотипа PI 227687 на развитие и питание гусениц *in vitro* сходно [17]. Известно, что трансгенные сорта томатов и табака (с транскрипционным фактором AtMYB12, способствующим усилению синтеза отдельных флавоноидов, выделен из арабидопсиса) характеризуются повышенной устойчивостью к некоторым насекомым за счет высокого уровня рутина в листьях [19] или в кожуре плодов [20; 21]. Как инсектицид рутин более эффективен, чем рутинозиды других флавоноидов при сходных концентрациях [22].

Выводы. Полученные результаты и данные литературы позволяют предполагать, что повышенные накопления отдельных флавоноидов, в первую очередь флавонола рутина, в листьях сои сортов Васильковская,

Таблица 2

Содержание флавоноидов, предположительно формирующих устойчивость сои к листогрызущим насекомым у неустойчивых и устойчивых сортах

Группа флавоноидов	Содержание (мкг/г)*		d _{ср} , мкг/г	d _{ср} , %
	неустойчивые сорта	устойчивые сорта		
Флавонолы рутин Сумма	1427,3 ± 954,7	4321,3 ± 677,1	2894,0	15,73 ± 6,36
	0	469,0 ± 112,2	469,0	2,55 ± 0,60
	1031,7 ± 464,3	2723,9 ± 385,0	1692,2	9,20 ± 3,28
	4271,4 ± 1639,2	14914,5 ± 3142,7	10643,1	57,84 ± 19,26
	459,4 ± 37,0	994,2 ± 115,1	534,8	2,91 ± 0,66
	357,9 ± 75,3	877,7 ± 127,6	519,8	2,82 ± 0,81
	7547,7 ± 1954,7	24300,6 ± 3244,3	16752,9	91,05 ± 20,59
Флавоны Сумма	0	606,1 ± 68,9	606,1	3,29 ± 0,37
	227,5 ± 35,3	518,7 ± 27,8	291,2	1,58 ± 0,24
	186,4 ± 49,0	573,3 ± 43,3	388,9	2,11 ± 0,36
	413,9 ± 60,4	1698,1 ± 86,0	1286,2	6,99 ± 0,57
Катехины Сумма	142,9 ± 44,9	440,5 ± 52,0	297,6	1,62 ± 0,37
	0	50,7 ± 10,1	50,7	0,28 ± 0,05
	0	12,0 ± 51,1	12,0	0,07 ± 0,03
	142,9 ± 44,9	503,2 ± 73,6	360,3	1,96 ± 0,38
Общая сумма	8104,5 ± 1956,2	26501,9 ± 3246,3	18399,3 ± 3789,8	100,00

* — содержание на массу сухих листьев; d_{ср} — средняя разница между значениями в сортах с разной устойчивостью; d_{ср}, % — доля конкретной разницы в суммарной разнице содержаний всех флавоноидов.

Сяйво и Фарватер могут обуславливать их устойчивость к листогрызущим насекомым. Выявленные при помощи предложенного анализа флавоноиды нуждаются в более точной идентификации с применением масс-спектрометрии. Вероятно, листовые флавонольные хемотипы, аналогичные хемотипам исследованных устойчивых сортов, могут повышать устойчивость новых сортов сои к насекомым при их воспроизводстве в ходе селекции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dicke M. Signaling in plant-insect interactions: signal transduction in direct and indirect plant defence / M. Dicke, R. M. P. van Poecke // Sheel D., Wasternack C. (eds.). Plant signal transduction. — Oxford University Press, 2002. — P. 289–316.
2. Макаренко О. А. Физиологические функции флавоноидов в растениях / О. А. Макаренко, А. П. Левицкий // Физиол. и биохим. культ. раст. — 2013. — Т. 45, № 2. — С. 100–112.
3. Gatehouse J. A. Plant resistance towards insect herbivores: a dynamic interaction / J. A. Gatehouse // New Phytologist. — 2002. — V. 156. — P. 145–169.
4. Stotz H. U. Plant-insect interactions / H. U. Stotz, J. Kroymann, T. Mitchell-Olds // Current Opinion in Plant Biology. — 1999. — № 2. — P. 268–272.

5. Lattanzio V. Role of phenolics in the resistance mechanisms of plants against fungal pathogens and insects / V. Lattanzio, V. M. T. Lattanzio, A. Cardinali // *Phytochemistry: Advances in Research* (ed. F. Imperato). — India: Research Signpost, 2006. — P. 23–67.
6. Andarwulan N. Flavonoid content and antioxidant activity of vegetables from Indonesia / N. Andarwulan, R. Batari, D. Sandrasari [et al.] // *Food chemistry*. — 2010. — № 121. — P. 1231–1235.
7. Tzi Bun Ng (ed.) *Soybean — Biochemistry, Chemistry and Physiology*. — InTech, 2011. — 642 p.
8. Timbo R. V. Biochemical aspects of the soybean response to herbivory injury by the brown stink bug *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) / R. V. Timbo, M. Hermes-Lima, L. P. Silva [et al.] // *PLOS ONE*. — 2014. — V. 9, № 10. — P. 1–10.
9. Buttery B. R. Varietal differences in leaf flavonoids of soybean / B. R. Buttery, R. I. Buzzell // *Crop Sci.* — 1973. — V. 1, № 1. — P. 103–106.
10. Hoffmann-Campo C. B. Role of the flavonoids in the natural resistance of soybean to *Heliothis virescens* (F.) and *Trichoplusia ni* (Hubner) / C. B. Hoffmann-Campo — UK: PhD Thesis, The University of Reading, 1995. — 165 p.
11. Mazid M. Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plant / M. Mazid, T. A. Khan, F. Mohammad // *Biol. and Med.* — 2011. — V. 3, № 2. — P. 232–249.
12. Левицкий А. П. Экстракция полифенолов из листьев винограда / А. П. Левицкий, И. В. Ходаков, Е. С. Райцева // *Харчова наука і технологія*. — 2012. — Т. 20, № 3. — С. 36–37.
13. Ходаков И. В. Способ идентификации полифенолов в растительных экстрактах при помощи ВЭЖХ. Определение состава изофлавонов сои / И. В. Ходаков // *Методы и объекты хим. анализа*. — 2013. — Т. 8, № 3. — С. 132–142.
14. Sakakibara H. Simultaneous of all polyphenols in vegetables, fruits and teas / H. Sakakibara, Y. Honda, S. Nakagawa [et al.] // *J. Agric. Food Chem.* — 2003. — V. 53, № 3. — P. 571–581.
15. Gaynor J. D. HPLC separation and relative quantitation of kaempferol glycosides in soybean / J. D. Gaynor, B. R. Buttery, R. I. Buzzell, D. C. MacTavish // *Chrom.* — 1988. — V. 25, № 12. — P. 1049–1053.
16. Analysis of flavonoids in *Ginkgo biloba* extracts // Shimadzu, Applications News. — № L405. — www.ssi.shimadzu.com/products/literature/lc/L405.pdf.
17. Hoffmann-Campo C. B. Pre-ingestive and post-ingestive effects of soybean bean extracts and rutin on *Trichoplusia ni* growth / C. B. Hoffmann-Campo, J. B. Harbone, A. R. McCaffery // *Entomol. Exp.* — 2001. — V. 98. — P. 181–194.
18. Piubelli G. C. Are chemical compounds important to soybean resistance to *Anticarsia gemmatilis*? / G. C. Piubelli, C. B. Hoffmann-Campo, F. Moscardi [et al.] // *J. Chem. Ecol.* — 2005. — V. 31. — P. 1509–1525.
19. Misra P. Modulation of transcriptome and metabolome of tobacco by *Arabidopsis* transcription factor, AtMYB12, leads to insects resistance / P. Misra, A. Pandey, M. Tiwari [et al.] // *Plant physiol.* — 2010. — V. 152. — P. 2258–2268.
20. Stewart A. J. Occurrence of flavonols in tomatoes and tomato-based products / A. J. Stewart, S. Bozonnet, W. Mullen [et al.] // *J. Agric. Food Chem.* — 2000. — V. 48, № 7. — P. 2663–2669.

21. Papadaki M. Influence of feeding of *Frankliniella occidentalis* pergande (Thysanoptera: Thripidae) on the polyphenolic complex in the leaves / M. Papadaki, V. Harizanova, S. Dagnon // Bulg. J. Agric. Sci. — 2008. — V. 14, № 1. — P. 405–409.
22. Kroner A. Nicotiflorin, rutin and chlorogenic acid: phenylpropanoids involved differently in quantitative resistance of potato tubers to biotrophic and necrotrophic pathogens / A. Kroner, N. Marnet, D. Andrivon, F. Val // Plant. Physiol. Biochem. — 2012. — V. 57. — P. 23–31.

Надійшла 28.07.2015

UDK (581.19+577.127.4):(635.074+633.34):632.7

Khodakov I. V. SE «The Institute of Stomatology NAMS of Ukraine»

ACCUMULATION OF FLAVONOIDS IN LEAVES OF SOYBEAN (*GLYCINE MAX* L.) AS A FACTOR OF DEFENSE AGAINST INSECT-DEFOLIATORS

Polyphenol compositions and contents in leaves of soy varieties Beregin-ya, Danko with injuries from leaf-eating insects and in leaves of varieties Vasilkovskaya, Syaivo, Farvater without injuries in the phase of bean filling was researched. No damages on the leaves of resistance varieties combined with a significance increase (3,3 times) of content of 12 flavonoids. 6 of them — flavonol glycosides, 3 — glycosides of flavons apigenin and luteolin, 3 — catechins. Flavonol rutin (quercetin-3-O-rutinoside) prevailed among flavonoids — 9,309–20,180 mg/g (45,4 % from the total polyphenol mass on the average). The proportions of flavonols was 91,7 %, of flavons — 6,4 %, of catechins — 1,9 %. The estimated contribution of rutin in summary effect of detected complex of flavonoids — $57,8 \pm 19,3$ %. The significant accumulation of individual flavonoids in leaves, primarily of rutin, may be a condition for the resistance of soy varieties to insect-defoliators.

УДК (581.19+577.127.4):(635.074+633.34):632.7

Ходаков І. В. ДУ «Інститут стоматології НАМН України»

ЗВ'ЯЗОК УШКОДЖЕННЯ СОЇ (*GLYCINE MAX* L.) ЛИСТОГРИЗУЧИМИ КОМАХАМИ З НАКОПИЧЕННЯМ ФЛАВОНОЇДІВ У РОСЛИНАХ

Досліджували склад і вміст поліфенолів у листках сої сортів Берегиня, Данко в фазі наливу бобів, які були пошкоджені гризучими комахами, та сортів Васильківська, Сяйво і Фарватер з листками без пошкоджень. Відсутність пошкоджень на листках стійких сортів поєднується з достовірним підвищенням (у 3,3 раза) вмістом 12 флавоноїдів, 6 з яких — глікозиди флавонолів, 3 — глікозиди флавоноів апігеніна і лутеоліна, 3 — катехіни. Серед флавоноїдів переважав флавонол рутин (кверцетин-3-О-рутинозид) —

9,309–20,180 мг/г (в середньому 45,4 % від загальної маси поліфенолів). Частка флавонолів склала 91,7, флавонів 6,4 і катехинів 1,9 %. Розрахунковий внесок рутина в загальний ефект виявленого комплексу флавоноїдів — $57,8 \pm 19,3$ %. Значне накопичення окремих флавоноїдів у листках, насамперед рутину, може визначати стійкість сої до листогризух комах.

ОГЛЯДИ

УДК 577.21:575.22:581.6

Н. Е. ВОЛКОВА, д. б. н., ст. наук. співроб., гол. наук. співроб.
СГІ–НЦНС, Одеса
e-mail: natavolki@ukr.net

РЕДАГУВАННЯ ГЕНОМІВ У СЕЛЕКЦІЇ РОСЛИН (МІНІОГЛЯД)

В постгеномну епоху активно розвиваються методи, що дозволяють маніпулювати з ДНК в геномах, керувати експресією генів та роботою регуляторних елементів. Останніми роками з'явилися найсучасніші методи редагування геномів — системи точного та сайт-специфічного додавання, зміни або видалення генів з використанням сконструйованих нуклеаз («молекулярні ножиці»). Найбільш досконалою є технологія на основі кластеризованих регулярно інтерсперсованих коротких паліндромних повторів (англ. clustered regularly interspersed short palindromic repeats, CRISPR), яка успішно протягом чотирьох років з часу її дебюту застосована для редагування клітин людини, рослин, комах, дріжджів і багатьох інших організмів. У мініогляді висвітлені основні технології редагування геномів та наведені приклади їхнього застосування в селекції рослин.

Ключові слова: редагування геномів, CRISPR, селекція рослин.

Вступ. З урахуванням динаміки росту населення та зміни клімату очевидно, що за використання існуючих технологій сільського господарства нагодувати світ не вдасться. Технологія ж нового покоління — редагування геномів дозволяє точно і сайт-специфічно модифікувати геноми і швидко створювати організми з необхідними ознаками. На цей огляд мене надихнула стаття «Як редагування геномів змінить сільське господарство, якщо ми дозволимо це» Devang Mehta, співробітника Швейцарського федерального інституту технологій Цюріха (нім. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich) [1].

За даними Продовольчої та сільськогосподарської Організації Об'єднаних Націй (Food and Agriculture Organization of the United Nations, ФАО) [2], 870 мільйонів людей на даний час хронічно голодують, 2 мільярди недоїдають. Темпи зростання врожайності знизилися після значного внеску зелених революцій 1960-х років для пшениці й рису. Тепер очевидно, що традиційні селекційні технології самі по собі не забезпечать харчуванням більше 9 мільярдів людей у 2050 році. ФАО визнає, що за належного поєднання з іншими технологіями для виробництва продовольства сільськогосподарських продуктів і послуг молекулярно-мар-

кernі технології можуть значно сприяти задоволенню потреб зростаючого і дедалі більш урбанізованого населення Земної кулі.

Глобальна мета селекції рослин — створення нових та удосконалення наявних сортів з підвищеною врожайністю та поліпшеними властивостями. Фундаментальним для цього є існування генетичного різноманіття та мінливості. Фактично без великого набору різних варіантів генетичного матеріалу схрещування рослин у селекційних пошуках взагалі не мало б сенсу, оскільки одержували б одне і те саме.

Значна частка рослин має досить значний відсоток загальної ДНК. Це очевидно, якщо врахувати, скільки базових фізіологічних функцій (від фотосинтезу до розмноження) об'єднують різні види рослин. Однак ті ж самі гени, навіть у межах одного і того ж виду, можуть відрізнятися — від заміни одного нуклеотиду на інший до втрати цілого регіону гена. Мутації призвели до існування різних версій одного і того ж гена — алелів. Різноманіття алелів проявляється по-різному: від виключення гена аж до зміни його продукту. У такому сенсі вся історія сільського господарства — це спроби обрати найбільш ефективні і відкинути менш корисні алелі.

Отримання рослини з правильною комбінацією «корисних» алелів різних генів за традиційних підходів селекціонери здійснюють не дуже ефективно — вивчають великі популяції рослин і схрещують їх до тих пір, поки не отримають рослину з бажаними ознаками. Незважаючи на те, що цей підхід використовується вже понад століття, процес створення нових сортів залишається надто трудомістким і потребує багатьох років напруженої роботи. Отож традиційну селекцію рослин навіть тепер описують у підручниках як «мистецтво і наука». І передусім через те, що кінцевий результат залежить від навичок фахівця з селекції у його доборі рослин з різними властивостями — так зване «око селекціонера» (англ. breeder eye).

Мета даного огляду: надати інформацію щодо найсучаснішої технології модифікації геному — редагування геному та навести приклади її ефективного застосування в селекції рослин.

Сучасне сільське господарство нагадує зигзагоподібну модель ко-еволюції рослин і фітопатогенів, а саме «гонку озброєнь» між рослиною і патогенами, які її атакують, причому багато з них швидше набувають еволюційних змін, ніж сама рослина. Сільське господарство має нагодувати популяцію людей, що невпинно зростає, впоратися з впливом змін клімату (збільшенням кількості екстремальних природних явищ в ближній перспективі і глобальними змінами клімату у подальшому) та, крім цього, впоратися з швидко змінюваними фітопатогенами. І все це за вимоги сталості даної системи.

Історія селекції рослин — це розвиток від «чорної скриньки» до більш повного розуміння того, що робить рослина і як краще використовувати її унікальні властивості. Наші предки вибирали найкращі плоди і найкрупніше зерно, несвідомо змінюючи при цьому рослини в потрібному на-

прямку. Далі вони зрозуміли, що методом простого добору неможливо отримати принципово нові властивості в організмів, оскільки при доборі маніпулюють тільки тим, що вже існує. Тому для отримання нових сортів рослин почали застосовувати гібридизацію — штучне схрещування організмів з бажаними ознаками. З відкриттям законів спадковості і мінливості та розвитком генетики з'явилася можливість усвідомлено керувати передачею необхідних ознак. І тепер, з недавнім впровадженням *-omics* технологій, ми можемо читати (сиквенування) ДНК рослин, вивчати, як кожен ген відповідає на різні умови середовища (експресія), і прогнозувати, наскільки ефективно рослина може виробляти хімічні речовини, заради яких ми їх і споживаємо.

Слід нагадати, що значна кількість сучасних популярних сільськогосподарських культур є результатом реалізації програм дослідження мутагенезу на початку і в середині XX століття; частково це — побічний продукт розвитку ядерних технологій і державної програми США «Atoms for Peace» [3]. Деякі з цих продуктів мутаційної селекції досі широко застосовуються, наприклад, карликова пшениця знаменита завдяки Зеленій Революції, карликовий рис в Каліфорнії (США), резистентний до вірусів кокос у Гані, злаки, які краще осолоджуються, в Європі.

Класичний мутагенез полягає в створенні мутацій в насінні рентген- / гамма-випромінюванням або за дією хімічних мутагенів. Результатом є нові, мутантні алелі. Мутації за такої технології неточні, в геномі відбуваються мільйони мутаційних подій і лише деяка їхня частка потрібна для схрещування. Тому первинні продукти мутагенезу мають пройти селекцію і серію схрещувань з тим, щоб дібрати потенційно корисні алелі і привнести їх у рослину; цей процес довготривалий і може сягати десятків років. Редагування геному є іншою формою мутагенезу та за своєю суттю є зміною (мутацією) у певних регіонах геному, зазвичай у генах. Отже старі методики спираються на випадкові події, в той час як редагування геному точне і цілеспрямоване, що призводить до різкого зменшення часових витрат на шляху «від мутації до посіву».

Редагування геному призначене для точного й сайт-специфічного (замість випадкового) додавання, зміни або видалення генів з використанням сконструйованих нуклеаз («молекулярні ножиці»). До 2013 р. домінуючими були системи цинк-пальцевих нуклеаз (*англ.* zinc-finger nucleases, ZFNs) [4; 5] та транскрипційних активатор-подібних ефекторів нуклеаз (*англ.* transcription activator-like effector nucleases, TALENs) [6]. Прикладами їхнього успішного застосування у рослинництві є створення гербіцидостійкої кукурудзи за системою ZFNs [7], TALENs використано для видалення гена, який надає сприйнятливості до бактеріального захворювання — опіку рису та створення ароматичного рису [8].

Але протягом останніх чотирьох років редагування геномів зробилося широко відомим і знаменитим через відкриття та вдосконалення технології CRISPR/Cas9 — кластеризованих регулярно інтерсперсованих

коротких паліндромних повторів (англ. clustered regularly interspersed short palindromic repeats (CRISPR) / CRISPR-associated system (Cas9) з *Streptococcus pyogenes*) [9]. Ця технологія зробила редагування геному доступним для більшої частини біологічних лабораторій в усьому світі. До CRISPR було практично неможливо створити мутацію тільки у цільовому гені і зробити це з відносною легкістю.

За чотири роки з часу дебюту CRISPR-технологію застосували для редагування клітин людини, комах, дріжджів і багатьох інших організмів. Дана технологія успішно використовується й у редагуванні геномів рослин [10–12], зокрема й декоративних (наприклад, петунії [13]) і багатьох важливих сільськогосподарських культур — рису [14], сої [15], пшениці [16], сорго, кукурудзи, померанця, томату [17]. Досліджуються можливості редагування геномів культурних рослин для надання їм противірусного імунітету [18; 19].

У перспективі редагування геномів на базі CRISPR можна буде застосовувати для одночасного редагування кожного гена в геномах рослин (або кожного гена певного типу — наприклад, R-генів, що відповідають за стійкість до захворювань), створюючи і/або відкриваючи у такий спосіб корисні алелі, які можна додати в існуючі сорти. Справжня ж вершина редагування геному за CRISPR-технологією полягає в можливості створення різних алелів незалежно від статевого розмноження.

Уявлення Devang Mehta щодо перспектив селекції рослин у тому, що редагування геномів може забезпечити модель «plug-and-play» («підключи і грай»), і селекційний «пайплайн» майбутнього буде схожий на сучасні конвеєри. Взявши дані з 1000 наукових статей та ініціатив (наприклад, таких, як DivSeek), дослідники будуть тестувати різні комбінації алелів у модельних сортах рослин, безпосередньо редагуючи їх геном. Після добору алелів на основі цих результатів вчені зможуть використовувати ці зміни на великій кількості немодельних сортів рослин, провести польові тестування і приступити до виробництва насіння нових сортів. Хоча факторів, що впливають на цей процес, досить багато, найбільший ефект у сільському господарстві дасть зменшення кількості необхідних поколінь для тестування нового сорту, тобто більш швидке створення кінцевого продукту [20].

Виникає питання — чи геноморедаговані рослини є генномодифікованими організмами (ГМО)? Ні. Визначити різницю між відредагованою рослиною та природним варіантом неможливо. Результат редагування геномів не містить ніяких трансгенів та ніяких «слідів» використання методу, яким отримано сорт відредагованої рослини. Редагування проводиться за допомогою біохімічних агентів (РНК і протеїни), які діють більш точно, ніж ультрафіолет або хімічні мутагени. Тобто результати класичного мутагенезу теж можливо розглядати як генетичну модифікацію, але жодна країна не класифікує рослини, отримані в результаті такого мутагенезу, як ГМО.

З точки зору державного регулювання [21; 22] це питання повністю визначає роль і місце даної технології в сільськогосподарському виробництві. Наприкінці статті Devang Mehta пише «Для створення більш сталого сільського господарства треба бути більш відкритими для нових технологій та не зосереджуватися на менш ефективних. Швидше за все, не вдасться зменшити кількість споживаної їжі, але можна підвищити ефективність, з якою ми її виробляємо». Немоżliво не погодитися з цими словами.

Висновки. Найсучасніша CRISPR-технологія редагування геномів для створення рослин з необхідними властивостями і ознаками може розв'язати проблему забезпечення продовольством постійно зростаюче населення Землі за умови правильного підходу до регуляторного статусу геноморедагованих культур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mehta D. Rewriting our food supply. How genome editing will revolutionise agriculture and secure our future, if we let it [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://devang.atavist.com/rewriting-our-food-supply>.
2. Сайт Food and Agriculture Organization of the United Nations [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.fao.org/>.
3. Сайт International Atomic Energy Agency [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://www.iaea.org/>.
4. Carroll D. Genome engineering with zinc-finger / D. Carroll // Genetics. — 2011. — Vol. 188, N 4. — P. 773–782.
5. Targeted deletion and inversion of tandemly arrayed genes in *Arabidopsis thaliana* using zinc finger nucleases / Y. Qi, X. Li, Y. Zhang [et al.] // G3: Genes, Genomes, Genetics. — 2013. — Vol. 3, № 10. — P. 1707–1715.
6. Voytas D. Plant genome engineering with sequence-specific nucleases / D. Voytas // Annu. Rev. Plant Biol. — 2013. — Vol. 64. — P. 327–350.
7. Precise genome modification in the crop species *Zea mays* using zinc-finger nucleases / V. Shukla, Y. Doyon, J. Miller [et al.] // Nature. — 2009. — Vol. 459. — P. 437–441.
8. Creation of fragrant rice by targeted knockout of the OsBADH2 gene using TALEN technology / Q. Shan, Y. Zhang, K. Chen [et al.] // Plant Biotech. J. — 2015. — Vol. 13, № 6. — P. 791–800.
9. A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity / M. Jinek, K. Chylinski, I. Fonfara [et al.] // Science. — 2012. — Vol. 337. — P. 816–821.
10. Editing plant genomes with CRISPR/Cas9 / K. Belhaj, A. Chaparro-Garcia, S. Kamoun [et al.] // Curr. Opinion Biotech. — 2015. — Vol. 32. — P. 76–84.
11. The Power of CRISPR-Cas9-induced genome editing to speed up plant breeding / H. Cao, W. Wang, H. Le [et al.] // Int. J. Genomics. — 2016. — Vol. 2016, Article ID 5078796. — 10 p.
12. Ishii T. Consumer acceptance of food crops developed by genome editing / T. Ishii, M. Araki // Plant Cell Rep. — 2016. — Vol. 35, № 7. — P. 1507–1518.
13. Exploiting the CRISPR/Cas9 system for targeted genome mutagenesis in *Petunia* / Z. Bin, Y. Xia, Y. Chunping [et al.] // Sci. Rep. — 2016. — Vol. 6. — P. 20315–20320.

14. Generation of artificial drooping leaf mutants by CRISPR-Cas9 technology in rice / T. Ikeda, W. Tanaka, M. Mikami M. [et al.] // *Gen. Genet. Syst.* — 2016. — Vol. 90, № 4. — P. 231–235.
15. Efficient targeted mutagenesis in soybean by TALENs and CRISPR/Cas9 / D. Hongyang, Z. Xuanrui, Z. Meng [et al.] // *J. Biotech.* — 2016. — Vol. 217. — P. 90–97.
16. Genome editing in rice and wheat using the CRISPR/Cas system / Q. Shan, Y. Wang, J. Li [et al.] // *Nat. Protoc.* — 2014. — Vol. 9. — P. 2395–2410.
17. CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis of the RIN locus that regulates tomato fruit ripening / Y. Ito, A. Nishizawa-Yokoi, M. Endo [et al.] // *Biochem. Biophys. Res. Comm.* — 2015. — Vol. 467, № 1. — P. 76–82.
18. CRISPR/Cas9-mediated viral interference in plants / Z. Ali, A. Abulfaraj, A. Idris [et al.] // *Gen. Biol.* — 2015. — Vol. 16. — P. 238–245.
19. Engineering plant immunity: Using CRISPR/Cas9 to generate virus resistance / S. Zaidi, M. Tashkandi, S. Mansoor [et al.] // *Front. Plant Sci.* — 2016. — Vol. 7. — Article 1673.
20. Schiml S. Revolutionizing plant biology: multiple ways of genome engineering by CRISPR/Cas / S. Schiml, H. Puchta // *Plant Methods.* — 2016. — Vol. 12 : 8. — 9 p.
21. Voytas D. Precision genome engineering and agriculture: Opportunities and regulatory challenges / D. Voytas, C. Gao // *PLOS Biol.* — 2014. — Vol. 12, № 6. — e1001877.
22. Wolt J. The Regulatory status of genome-edited crops / J. Wolt, K. Wang, B. Yang // *Plant Biotech. J.* — 2016. — Vol. 14. — P. 510–518.

Надійшла 13.12.2016

UDC 577.21:575.22:581.6

Volkova N. E. Plant Breeding and Genetics Institute — National Center of Seed and Cultivar Investigations

GENOMIC EDITING IN PLANT BREEDING (MINI REVIEW)

Information on the modern methods of genomes editing — systems of accurate and site-specific genes addition, changing or deleting by engineered nucleases («molecular scissors») is presented, including technology on basis of clustered regularly interspersed short palindromic repeats (CRISPR). There are examples of their using for the plant breeding tasks.

УДК 577.21:575.22:581.6

Волкова Н. Э. Селекционно-генетический институт — Национальный центр семеноведения и сортоизучения

РЕДАКТИРОВАНИЕ ГЕНОМОВ В СЕЛЕКЦИИ РАСТЕНИЙ (МИНИОБЗОР)

Представлена информация о самых современных методах редактирования геномов — систем точного и сайт-специфического добавления, изменения или удаления генов с использованием сконструированных нуклеаз («молекулярные ножницы»), в частности технологии на основе кластеризованных регулярно интерсперсированных коротких палиндромных повторов (*англ.* clustered regularly interspersed short palindromic repeats, CRISPR). Приведены примеры их использования для решения задач селекции растений.

**Вимоги до оформлення статей
до «Збірника наукових праць Селекційно-генетичного
інституту — Національного центру насіннєзнавства та
сортовивчення»**

1. Статті до «Збірника...» подаються у 2 примірниках та в електронній версії (Word) українською або російською, або англійською мовами. До статей українською чи російською мовами додається переклад тексту (з відповідними складовими — анотація, резюме тощо) англійською для розміщення на веб-сайті інституту.

Обсяг статті — до 12 друкарських сторінок.

2. Форма подання: формат А-4; шрифт Arial, розмір 12, інтервал 1,5. Поля: верхнє, нижнє, ліве, праве — 2,0 см.

3. Порядок розташування елементів оформлення сторінки, згори до-низу:

- 2 інтервали;
- УДК (великими літерами);
- 1 інтервал;
- прізвище, ініціали автора (авторів) (великими літерами), його (їх-ній) науковий ступінь, вчене звання, академічне звання, посада (скорочено); електронна адреса;
- назва установи;
- 1 інтервал;
- назва статті (великими літерами, жирним шрифтом);
- 1 інтервал;
- анотація мовою написання статті (курсив);
- 1 інтервал;
- ключові слова (курсив);
- 1 інтервал;
- текст статті;
- 2 інтервали;
- список літератури в порядку цитування за стандартом наведення бібліографічних даних;
- резюме українською, англійською, російською мовами після бібліографії з коротким викладом результатів досліджень.

4. Стаття містить вступ, опис матеріалів та методів досліджень, обговорення результатів, висновки.

5. Таблиці та рисунки мають бути пронумеровані і вмонтовані в текст з обов'язковим посиланням на них. Підписи до рисунків друкуються під ними, до таблиць — над ними.

6. Літературні джерела подаються в тексті в порядку посилання на них цифрами у квадратних дужках.

7. До матеріалів додається довідка про автора (авторів) із зазначенням місця роботи, посади, наукового ступеня, вченого звання, номерів телефону, факсу, електронної пошти.

8. Статті, які не відповідатимуть означеним вимогам, прийматись не будуть.

Друкується за рішенням вченої ради
Селекційно-генетичного інституту —
Національного центру
насіннезнавства та сортовивчення
(Протокол № 15 від 01.11.2016 р.)

Збірник внесено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з галузей сільськогосподарських (генетика, селекція рослин, насінництво) та біологічних (генетика) наук.

Наказ Міністерства України від 21 грудня 2015 р. № 1328 (Додаток № 8)

Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації
Серія KB № 9531 від 18.01.2005 року

Редактори: В. Я. Крижанівський, М. Г. Музикант

Тираж 100 прим. Зам. № 242 (222).

Адреса редакції:

Селекційно-генетичний інститут —
Національний центр насіннезнавства та сортовивчення,
65036, м. Одеса, Овідіопольська дорога, 3.
Тел.: (048) 789–54–01, факс: (048) 789–52–89
E-mail: sgi-uaan@ukr.net, www.sgi.in.ua

Друкарня видавництва «Астропринт»
65091, м. Одеса, вул. Разумовська, 21
Тел.: (0482) 37–07–95, 37–14–25, 33–07–17, (048) 7–855–855
www.astroprint.ua
www.stranichka.in.ua
e-mail: astro_print@ukr.net
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1373 від 28.05.2003 р.