

Растениеводство, защита и биотехнология растений

УДК 633.14:575.222.6

DOI 10.31857/S2500262724020036 EDN GTYJNP

ОЦЕНКА КОМБИНАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ИНБРЕДНЫХ ЛИНИЙ ОЗИМОЙ РЖИ ПО ВЫСОТЕ РАСТЕНИЙ

А. А. Гончаренко, академик РАН, **А. В. Макаров**, доктор сельскохозяйственных наук, **Т. В. Семенова**, **В. Н. Точилин**, **Н. А. Ключко**, **Н. В. Цыганкова**, **М. С. Гончаренко**, кандидаты сельскохозяйственных наук, **П. А. Плотников**

Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»,
143026, Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6
E-mail: goncharenko05@mail.ru

Исследования проводили с целью оценки общей и специфической комбинационной способности инбредных линий озимой ржи по высоте растений и выявления относительно короткостебельных гибридных комбинаций. Исходным материалом для скрещивания послужили 22 гомозиготные линии озимой ржи, несущие стерильную цитоплазму типа Пампа. В качестве тестеров использовали мужски фертильные гомозиготные линии mf H-1423, mf H-1247, mf H-732 и mf H-842, у которых высота растений составляла соответственно 122 см, 120 см, 102 см и 100 см. Тестовые скрещивания проводили на изолированных участках по схеме топкросса. Всего было получено 88 простых гибридов F1. Их испытание проводили на делянках 8,0 м² в 3-х повторениях. Средняя высота растений у гибридов F1 составила 129 см и варьировала от 114 см до 145 см. Наиболее короткостебельными оказались генотипы с участием тестера mf H-732 и mf H-842, а наиболее высокорослыми – с участием тестера mf H-1423. В дисперсию признака высота растения существенный вклад вносили как общая (ОКС), так и специфическая (СКС) комбинационная способность. Существенно более высокой ОКС, по сравнению с другими линиями, обладали генотипы ms H-422 и ms H-1179, а более низкой – ms H-700 и ms H-1058. Среди тестеров достоверно более высокой, по сравнению с другими линиями-тестерами, ОКС характеризовались высокостебельные линии mf H-1423 и mf H-1247, а более низкой – короткостебельные тестеры mf H-732 и mf H-842. Комбинации с участием короткостебельных тестеров составили группу наиболее короткостебельных гибридов, у которых высота растений варьировала от 114 до 120 см. Для практической селекции большую ценность представляют линии с низкими эффектами не только по ОКС, но и по СКС. Выделена линия ms H-700, которая сочетала в себе оба эти признака.

ASSESSMENT OF THE COMBINATIONAL ABILITY OF INBRED WINTER RYE LINES IN PLANT HEIGHT

A. A. Goncharenko, **A. V. Makarov**, **T. V. Semenova**, **V. N. Tochilin**, **N. A. Clochko**, **M. S. Goncharenko**, **N. V. Tsygankova**, **P. A. Plotnikov**

Federal Research Center «Nemchinovka»,
143026, Moskovskaya obl., Odintsovskii r-n, r.p. Novoivanovskoe, ul. Agrokhimikov, 6
E-mail: goncharenko05@mail.ru

The aim of the research is to evaluate the general and specific combinational ability of inbred winter rye lines in plant height and identify relatively short-stemmed combinations. The starting material for the crossing was 22 homozygous rye lines carrying sterile cytoplasm of the Pampa type. The male fertile homozygous lines mf H-1423, mf H-1247, mf H-732 and mf H-842 were used as testers, in which the plant height was 122 cm, 120 cm, 102 cm and 100 cm, respectively. Test crosses were carried out in isolated plots according to the topcross scheme. A total of 88 simple F1 hybrids were produced. They were tested on plots of 8.0 m² in 3 repetitions. The average height of plants in F1 hybrids was 129 cm and ranged from 114 cm to 145 cm. The hybrids with the participation of the mf H-732 and mf H-842 tester turned out to be the shortest-stemmed, and the tallest ones with the participation of the mf H-1423 tester. Both general (GCA) and specific (SCA) combinational abilities made a significant contribution to the variance of the plant height trait. The genotypes ms H-422 and ms H-1179 had a significantly higher GCA compared to other lines, and ms H-700 and ms H-1058 had a lower one. Among the testers, the high-stemmed mf H-1423 and mf H-1247 lines had a reliably high GCA, and the short-stemmed mf H-732 and mf H-842 testers had a reliably low GCA. Combinations involving short-stemmed testers made up a group of the shortest-stemmed hybrids, in which plant height varied from 114 to 120 cm. It is shown that lines with low effects are of great value for practical breeding not only for GCA, but also for SCA. The ms H-700 line is of interest, which simultaneously combines low grades in GCA and SCA.

Ключевые слова: озимая рожь (*Secale cereale* L.), общая и специфическая комбинационная способность, линия, тестер, гибрид, высота растений.

Key words: winter rye (*Secale cereale* L.), general and specific combination ability, line, tester, hybrid, plant height.

Одно из слабых мест в архитектонике растения озимой ржи – длинностебельность и обусловленная этим недостаточно высокая устойчивость к полеганию [1]. Это снижает ее конкурентоспособность, по сравнению с пшеницей и тритикале, поскольку сдерживает применение интенсивных технологий возделывания. Вредность полегания заключается не только в усложнении механизированной уборки и высоких потерях урожая (до 50 %), но и в снижении общего биологического урожая [2, 3]. В связи с ростом культуры земледелия заметно возросла потребность в неполегающих сортах

ржи. В известной мере такая ситуация обусловлена тем, что межлинейные гибриды проявляют гетерозис не только по урожаю зерна, но и по высоте растений, что снижает их устойчивость к полеганию. По этой причине селекция короткостебельных гибридов озимой ржи оказалась более проблемной, чем у популяционных сортов. Оптимально селективируемые гибриды F1 должны сочетать высокий гетерозис по урожайности с минимально низким гетерозисом по высоте растений, величина которого у ржи довольно значительная. При межлинейных скрещиваниях она может достигать 31 %

[4]. Сходные результаты получены и в наших исследованиях [5]: средний гипотетический гетерозис по высоте растений составил 34,4 % с колебаниями по гибридам от 21,4 до 47,0 %. При этом частота появления низкогетерозисных гибридов была невысокой – 3 из 10.

Высота растений ржи – по своей природе количественный признак, который находится под полигенным контролем и фенотипически проявляется как сумма эффектов многих генов, скорректированная влиянием взаимодействия генотипа со средой [6]. По другим данным [7], высота растений ржи имеет сложную генетическую архитектуру и контролируется множеством локусов, разбросанных по всему геному. Важный этап селекции гетерозисных гибридов ржи – проведение тестовых скрещиваний и последующее испытание гибридов в различных почвенно-климатических условиях. Основная задача такого исследования – оценить родительские формы по комбинационной способности. Это необходимо для того, чтобы добиться максимального проявления эффекта гетерозиса в гибридном потомстве [8, 9, 10]. По существу, селекция на гетерозис – это селекция на комбинационную способность, которую в этой связи можно считать генетически обусловленным признаком.

Комбинационную способность подразделяют на общую (ОКС) и специфическую (СКС). Такое разделение впервые обосновали Sprague G. F. и Tatum L. G. на кукурузе [11]. Они определили, что оценка по ОКС отражает среднюю ценность родительской формы в гибридных комбинациях с ее участием, а по СКС позволяет выявить те пары линий, которые при скрещивании образуют наиболее гетерозисный гибрид. Генетическая основа обоих этих феноменов базируется на предположении, что ОКС – результат аддитивного взаимодействия генов, детерминирующих признак, а потенциал СКС зависит от степени доминирования в локусах и эпистатического взаимодействия генов.

В научной литературе относительно мало работ по теме комбинационной способности у озимой ржи. Обусловлено это тем, что сама история гибридной селекции ржи началась недавно, всего 50 лет назад [8]. Следует отметить, что оценка линий по ОКС важнее при оценке гибридов, полученных от скрещивания родителей из разных генопулов. Наоборот, оценка по СКС играет более значимую роль при оценке гибридов от скрещивания родителей из одного генопула [12]. Экспериментально показано, что эффекты ОКС и к СКС проявляются по широкому спектру признаков. Miedaner T. et al [13] сообщают, что инбредные линии ржи, созданные на базе диких источников из Аргентины и Ирана, имели существенно высокую ОКС и СКС по ряду хозяйственно ценных признаков, включая пыльцеобразование и восстановление мужской фертильности. Интрогрессия ценных признаков от этих экзотических источников в культурные линии позволила получить гибриды ржи с высоким (55...90 %) и экологически стабильным уровнем пыльцеобразования, что имеет существенное значение при использовании ЦМС типа Пампа.

Особый интерес представляет вклад ОКС и СКС родительских форм в генетическую детерминацию отдельных количественных признаков. В литературе нет однозначного представления о доле их влияния на гетерозисный потенциал гибридов. Польские исследователи Kolasinska I. et al. [14] сообщали о результатах изучения комбинационной способности у 29 инбредных линий ржи по 8 признакам: урожайность, масса 1000 зерен, высота растений, дата колошения, пыльцеобразующая способность, степень полегания, поражение бурой ржавчиной и мучнистой росой. Авторы отмечали преоблада-

ние аддитивного взаимодействия генов в детерминации большинства изученных признаков. Однако в наследовании признака урожайности и некоторых ее структурных элементов важную роль играют доминирование и эпистаз. Отмечено также более высокое варьирование ОКС материнских и отцовских компонентов по большинству признаков. Константы СКС значимо варьировали только по трем признакам: высота растений, пыльцеобразующая способность и масса 1000 зерен.

Результаты наших исследований [15, 16] свидетельствуют о высокой достоверности эффектов ОКС и СКС по высоте растений. Однако долевое соотношение этих видов генных взаимодействий неравнозначно. Доля генотипической вариации, приходящаяся на ОКС, составила 74,9...79,2 %, а на долю СКС приходилось 20,1...23,8 % от всей изменчивости. Это указывает, что значительная часть вариации ОКС обусловлена аддитивными эффектами генов, которые связаны с гетерозисом. Установлена также достоверная связь эффектов ОКС по урожайности с высотой растений инбредных линий: коэффициент корреляции был высокодостоверным ($r=0,90\pm0,10$), что указывает на возможность раннего прогнозирования комбинационной ценности родительских линий по этому признаку.

В контексте обсуждаемого вопроса сходные результаты получены и на других перекрестноопыляемых культурах [17, 18, 19]. Некоторые исследователи отмечают высокую вариабельность общей и специфической комбинационной способности под влиянием погодных, агротехнических и других условий окружающей среды. Установлено, что СКС более изменчива, чем ОКС, и в большей степени варьирует в зависимости от места и года испытания, то есть ее потенциал в значительной степени определяется взаимодействием генотип – среда. Поэтому при изучении комбинационной способности важно выявить такие комбинации, которые обладают стабильно высокими показателями по селектируемым признакам [14, 20].

Цель исследований – оценить общую и специфическую комбинационную способность инбредных линий озимой ржи по высоте растений и выявить среди них относительно короткостебельные генотипы для целей гибридной селекции.

Методика. Исследования проводили в 2021–2022 гг. на полях экспериментальной базы ФИЦ «Немчиновка» (Московская обл.). Почва опытного участка дерново-подзолистая, суглинистая, с содержанием гумуса 2,1 %, рН солевой вытяжки в слое почвы 0...20 см составляет 6,6, содержание подвижных форм калия и фосфора – соответственно 81...120 мг/кг и 101...150 мг/кг.

Исходным материалом для исследований послужили 88 простых межлинейных гибридов F₁, которые получали от скрещивания по схеме топкросса 22 мужски стерильных линий с 4 мужски фертильными линиями (тестерами): mf H-1423, mf H-1247, mf H-732, mf H-842. Линии-тестеры существенно различались по высоте растений: mf H-1423 и mf H-1247 были сравнительно высокорослыми (соответственно 122 и 120 см), mf H-732 и mf H-842 – низкорослыми (102 и 100 см). Все материнские линии скрещивали с общим тестером, в качестве которого использовали фертильные линии. Это повышает результативность работы, так как улучшается точность отбора линий с высокой или низкой СКС. Немаловажно и то, что по мере увеличения числа тестеров, используемых в скрещивании, возрастает их генетическое разнообразие и, следовательно, точность оценки по ОКС. Инбредные линии получали методом многократного инцухта растений из гибридных по-

пуляций от скрещивания доноров самофертильности с сортами-популяциями, относящимся к трем различным генопулам: немчиновскому, саратовскому и вятскому. Стерильные аналоги инбредных линий создавали методом насыщающих скрещиваний, которые проводили зимой в теплице. В качестве источника стерильной цитоплазмы типа Пампа использовали стерильную линию ms H-1185. Тестовые скрещивания проводили на пространственно изолированных участках. Каждую стерильную линию высевали на делянке 5 м², которая опылялась окружающим ее фертильным тестером. В итоге получили 88 простых межлинейных гибридов F1, полевые испытания которых проводили на делянках 8,0 м² в 3-х кратной повторности при норме посева 500 зерен на 1 м². Высоту растений измеряли в фазе восковой спелости в трех местах делянки и вычисляли среднюю. Эффекты ОКС и константы СКС определяли на основе математической модели, предложенной В. Г. Вольф и у П. У. Литун [21]. Стандартные ошибки и достоверность различий оценивали при уровне вероятности $P = 0,95$.

Метеоусловия в годы исследований были различными. В 2021 г. май был прохладным и влажным (осадков выпало 163 % от нормы), июнь и июль – сухим и жарким (осадков выпало 51 % от нормы). Относительно благоприятные условия сложились в 2022 г., когда в период налива и созревания зерна стояла умеренно теплая и влажная погода, а полегание посевов было незначительным.

Результаты и обсуждение. Средняя высота растений изучаемых гибридов составила 129 см и варьировала от 114 до 145 см (табл. 1). В зависимости от генотипа линии-тестера размах варьирования высоты растений гибридов составлял от 122 до 136 см и был выше, чем у гибридов с участием материнских линий (от 126 до 133 см). Наиболее короткостебельными оказались гибриды с участием тестера mf H-732 (122 см) и mf H-842 (123 см), а самыми высокорослыми – с участием тестера mf H-1423 (136 см) и mf H-1247 (135 см). Важно отметить, что, хотя сила влияния материнских линий была менее выраженной, она также имела место: лучшими по короткостебельности были гибриды с участием линий ms H-700 (126 см) и ms H-1058 (126 см), а худшими

Табл. 1. Высота растений у простых межлинейных гибридов F1 озимой ржи, см

Стерильная линия	Фертильная линия (тестер)				Среднее (Xi)
	mf H-1423	mf H-1247	mf H-732	mf H-842	
ms H-139	133	132	126	123	128±2,4
ms H-283	135	140	126	126	132±3,5
ms H-325	135	138	120	124	129±4,3
ms H-422	140	138	124	127	132±4,0
ms H-463	143	132	123	122	130±4,9
ms H-577	132	127	124	124	127±1,9
ms H-649	137	132	123	127	130±3,0
ms H-699	135	135	123	124	129±3,3
ms H-700	132	130	122	119	126±3,1
ms H-732	132	127	123	126	127±1,9
ms H-1051	145	133	119	124	130±5,7
ms H-1054	125	138	123	125	128±3,4
ms H-1058	125	135	120	124	126±3,2
ms H-1074	138	138	121	121	129±4,9
ms H-1078	133	140	125	124	131±3,7
ms H-1099	133	132	124	120	127±3,1
ms H-1179	140	142	124	125	133±4,8
ms H-1185	137	135	120	120	128±4,6
ms H-1238	145	130	118	124	129±5,8
ms H-1276	138	135	121	129	131±3,7
ms H-1309	138	137	119	114	127±6,1
ms H-1370	138	142	125	120	131±5,2
Среднее (Xj)	136±1,1	135±0,9	122±0,5	123±0,7	129±0,4
HCP ₀₅ чр.	4,7				

с линиями ms H-1179 (133 см). На их фоне наиболее короткостебельными (114...119 см) отмечено 5 гибридов: ms H-1309 × mf H-842, ms H-1238 × mf H-732, ms H-1309 × mf H-732, ms H-1051 × mf H-732, ms H-700 × mf H-842.

Дисперсионный анализ исходных данных показал наличие достоверных различий между гибридами по высоте растений ($F_{\text{факт.}} = 20,1 > F_{05} = 1,5$). Это открывает возможности для определения эффектов ОКС и СКС, которые служат основной причиной варьирования гибридов по рассматриваемому признаку (табл. 2). Известно [22], что по отношению средних квадратов оценок ОКС и СКС можно судить о характере генетического контроля того или иного количественного признака. В наших опытах на долю эффектов ОКС приходилось 89,6 % изменчивости высоты растений изучаемых гибридов, на долю СКС – 10,4 %. Из этого следует, что основным компонентом генотипического варьирования изучаемого признака было аддитивное действие генов. Такое заключение подтверждает относительно широкое соотношение средних квадратов для ОКС и СКС, которое для материнских линий было равно 1,2, для отцовских линий-тестеров – 7,4. Это указывает на высокую генетическую дивергенцию изучаемых линий. Однако и величину средних квадратов СКС не следует сбрасывать со счетов. Она свидетельствует о существенном вкладе в генетическую вариацию признака неаддитивных эффектов генов. Поэтому при выборе лучших инбредных линий для скрещивания важно оценивать уровень обеих рассматриваемых характеристик.

Табл. 2. Дисперсионный анализ комбинационной способности инбредных линий по высоте растений

Источник дисперсии	SS	df	ms ²	F _{факт.}	F ₀₅
ОКС ms линий	397	21	18,9	9,0	1,8
ОКС mf тестеров	348	3	116,0	55,2	2,6
СКС	992	63	15,7	7,5	1,4
Остаточная	365	174	2,1		

Сравнительная оценка эффектов ОКС стерильных (g_i) и фертильных (g_j) линий показала, что изучаемые линии значительно различались по общей комбинационной способности (табл. 3). Для выявления линий с высокой и низкой ОКС, необходимо оценить существенность различий между ними на основе ошибки разности Ed_{ij} . Но так как средняя ОКС для стерильных линий и тестеров была равна 0, то фактическое значение эффектов ОКС по каждой линии представляло собой разницу, которую надо сопоставлять с HCP_{05} . Для стерильных линий величина ошибки Ed_{ij} была равна 1,41, $HCP_{05} = 2,82$, а для фертильных тестеров – соответственно 0,53 и 1,06. по результатам сравнения оказалось, что достоверно высокой ОКС, по сравнению с другими линиями, обладали линии ms H-422 и ms H-1179, а низкой – ms H-700 и ms H-1058. Комбинации с их участием контрастно различались по высоте растений. Гибриды, где в качестве одной из родительских форм выступали линии ms H-422 и ms H-1179, отличались относительной высокостебельностью (соответственно 132 см и 133 см), линии ms H-700 и ms H-1058 – относительной короткостебельностью (у обеих комбинаций 126 см).

Среди тестеров существенно выше была ОКС у линий mf H-1423 и mf H-1247, а достоверно ниже – у линий mf H-732 и mf H-842. Следовательно, используя низкие эффекты ОКС в качестве критерия для отбора, можно селекционировать линии, дающие относительно короткостебельные гибриды (на уровне 126 см), тогда как отбор линий по высоким оценкам ОКС приведет к синтезу высокорослых гибридов (на уровне 132...133 см).

Для выявления относительно короткостебельных комбинаций вычисляли константы СКС по высо-

Табл. 3. Оценка эффектов ОКС стерильных линий (g_i) и фертильных линий-тестеров (g_j)

Линия	Эффект ОКС	Линия	Эффект ОКС
Стерильные:		Стерильные:	
ms H-139	-0,59	ms H-1099	-1,80
ms H-283	1,78	ms H-1179	3,52*
ms H-325	0,14	ms H-1185	-1,08
ms H-422	3,04*	ms H-1238	-0,13
ms H-463	0,86	ms H-1276	1,58
ms H-577	-2,30	ms H-1309	-2,00
ms H-649	0,62	ms H-1370	2,07
ms H-699	0,13	$\Sigma =$	0
ms H-700	-3,26**	Тестеры:	
ms H-732	-2,05	ms H-1423	6,53*
ms H-1051	1,10	ms H-1247	5,61*
ms H-1054	-1,32	ms H-732	-6,49**
ms H-1058	-3,00**	ms H-842	-5,65**
ms H-1074	0,37	$\Sigma =$	0
ms H-1078	1,34		

НСР₀₅ для сравнения ОКС материнских ms линий со средней – 2,82; для сравнения ОКС отцовских mf тестеров со средней – 1,06

*линия с достоверно высокой ОКС; **линия с достоверно низкой ОКС.

те растений и определяли линии со специфическим взаимодействием по этому признаку. Оценка различий по СКС между стерильными линиями и фертильными тестерами выполняли с использованием средней варiances для каждой категории генотипов. В наших исследованиях средняя дисперсия эффектов СКС по 22 стерильным линиям ($\sigma^2_{s_i}$) была равна 13,7, по 4 тестерам ($\sigma^2_{s_j}$) – 9,8 (табл. 4). Результаты сравнения фактических дисперсий по каждой линии с этими величинами свидетельствуют, что в отдельных комбинациях скрещивания существенно более высокие оценки СКС продемонстрировали 9 стерильных линий (ms H-463, ms H-577, ms H-732, ms H-1051, ms H-1054, ms H-1058, ms H-1238, ms H-1309, ms H-1370) и 2 фертильных тестера (mf H-1423 и mf H-1247). Гибриды с их участием сформировали группу, у которой высота растений достигала 142 ...145 см. Самыми высоко-

Табл. 4. Оценка констант СКС у материнских ms линий и отцовских mf тестеров

Стерильная линия	Фертильная линия-тестер				Σs^2_{ij}	Дисперсия СКС ($\sigma^2_{s_i}$)
	mf H-1423	mf H-1247	mf H-732	mf H-842		
ms H-139	-2,2	-2,3	4,2	0,3	27,86	7,9**
ms H-283	-3,5	2,5	1,0	0,1	19,51	5,1**
ms H-325	-1,0	3,0	-2,5	0,6	16,61	4,1**
ms H-422	1,0	0	-1,6	0,6	3,61	0,1**
ms H-463	6,2	-3,8	-0,3	-2,1	57,38	17,7*
ms H-577	-1,5	-5,5	4,0	3,1	58,11	18,0*
ms H-649	0,5	-3,5	0	3,1	22,11	6,0**
ms H-699	-1,1	0	0,5	0,6	1,61	0,8**
ms H-700	-0,5	-1,5	3,0	-0,9	12,31	2,7**
ms H-732	-1,8	-5,8	2,7	4,8	67,21	21,0*
ms H-1051	8,0	-3,0	-4,5	-0,4	93,41	29,7*
ms H-1054	-9,5	4,5	2,0	3,1	124,11	39,9*
ms H-1058	-7,8	3,2	0,7	3,8	86,01	27,3*
ms H-1074	1,7	2,7	-1,8	-2,7	20,71	5,5**
ms H-1078	-4,2	3,7	1,2	-0,6	33,13	9,6
ms H-1099	-1,0	-1,0	3,5	-1,4	16,21	4,0**
ms H-1179	0,5	3,5	-2,0	-1,9	20,11	5,3**
ms H-1185	2,2	1,2	-1,3	-2,2	12,81	2,9**
ms H-1238	9,0	-5,0	-4,5	0,6	126,61	40,8*
ms H-1276	0,5	-1,5	-3,0	4,1	28,31	8,0**
ms H-1309	4,2	4,2	-1,3	-7,2	88,81	28,2*
ms H-1370	0	5,0	0,5	-5,4	54,41	16,7*
Σs^2_{ij}	405,1	258,4	138,3	189,1	-	-
$\sigma^2_{s_j}$	17,3*	10,3*	4,6**	7,0**	-	-

Средняя дисперсия СКС по ms линиям $\sigma^2_{s_i} = 13,7$; по mf тестерам $\sigma^2_{s_j} = 9,8$

*линии с достоверно высокой СКС; **линии с достоверно низкой СКС.

рослыми оказались гибриды ms H-1238 × mf H-1423, ms H-1051 × mf H-1423, ms H-463 × mf H-1423, ms H-1370 × mf H-1247, ms H-1179 × mf H-1247.

Достоверно низкие константы СКС отмечены у 12 стерильных линий. Среди фертильных линий-тестеров достоверно низкую СКС показали mf H-732 и mf H-842. Особый интерес представляют гибриды, у которых одна или обе родительские формы обладали низкой специфической комбинационной способностью по высоте растений, а потому могли отличаться короткостебельностью. В наших исследованиях такими оказались гибриды ms H-325 × mf H-732, ms H-700 × mf H-842, ms H-1051 × mf H-732, ms H-1058 × mf H-732, ms H-1099 × mf H-842, ms H-1185 × mf H-732, ms H-1185 × mf H-842, ms H-1238 × mf H-732, ms H-1309 × mf H-732, ms H-1309 × mf H-842, ms H-1370 × mf H-842. Высота растений перечисленных гибридов была наименьшей в опыте и варьировала в пределах 114...120 см. Это представляет интерес для практической селекции, так как дает возможность синтезировать относительно низкорослые комбинации. Особого внимания заслуживает стерильная линия ms H-700, которая сочетала в себе низкие оценки как по ОКС, так и по СКС.

Селекционный интерес представляют также линии с альтернативными оценками по ОКС и СКС. В наших исследованиях такими были ms H-422 (высокая ОКС и низкая СКС), ms H-1058 и ms H-1309 (низкая ОКС и высокая СКС). Теоретически можно ожидать, что с участием первой линии могут быть получены гибриды с примерно одинаковой высотой растений, а с участием двух других – гибриды с разным уровнем выраженности этого признака [22].

Комбинационная способность, как отмечалось ранее, – генетически обусловленный признак, который трудно поддается измерению. В этой связи практический интерес представляет поиск признаков, тесно коррелирующих с эффектами ОКС. В литературе имеются данные [23], что потенциал ОКС по урожайности относительно тесно ($r_g > 0,7$) коррелирует с такими признаками как высота растения, масса 1000 зерен, натура зерна, число падения и содержание крахмала. В наших исследованиях [15, 16] также была установлена положительная корреляция между оценками ОКС линий по урожайности и высотой растений ($r = 0,85 \pm 0,10$), а также массой 1000 зерен ($r = 0,80 \pm 0,13$). Это указывает на необходимость добиваться сочетаемости признаков продуктивности и короткостебельности в процессе гибридной селекции ржи.

Выводы. Таким образом, ведущую роль в генетической изменчивости признака высота растения играет общая комбинационная способность скрещиваемых линий, специфическая комбинационная способность влияет на нее в меньшей степени. Анализ эффектов общей и специфической комбинационной способности 22 материнских стерильных линий и 4 фертильных отцовских линий-тестеров позволил выделить среди них две относительно контрастные группы. Существенно большей ОКС по высоте растений обладали материнские линии ms H-422 и ms H-1179, тестеры mf H-1423 и mf H-1247, а достоверно меньшей ОКС – материнские линии ms H-700 и ms H-1058, тестеры mf H-732 и mf H-842. Комбинации с участием короткостебельных тестеров сформировали группу наиболее короткостебельных гибридов.

Для практической селекции большую ценность представляют комбинации с низкими константами СКС родительских форм. В нашем исследовании это были гибриды ms H-325 × mf H-732, ms H-700 × mf H-842,

ms H-1051 × mf H-732, ms H-1058 × mf H-732, ms H-1099 × mf H-842, ms H-1185 × mf H-732, msH-1185×mfH-842, H-1238×mfH-732, msH-1309×mfH-732, ms H-1309 × mf H-842, ms H-1370 × mf H-842, у которых высота растений была самой низкой в опыте и варьировала на уровне 114...120 см. Особого внимания заслуживает стерильная линия ms H-700, которая сочетала в себе низкие оценки как по ОКС, так и по СКС.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Федерального исследовательского центра «Немчиновка». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Чайкин В. В., Тороп А. А., Тороп Е. А. Изменение архитектуры растения как направление в селекции озимой ржи // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021. № 3. С. 24–33. doi: 10.24412/2309-348X-2021-3-23-33.
2. Практическое использование в селекции озимой ржи способов, позволяющих сочетать в сорте урожайность и устойчивость к неблагоприятным условиям / А. А. Тороп, В. В. Чайкин, Е. А. Тороп и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 3. С. 32–35. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10306.
3. Кобылянский В. Д., Солодухина О. В. Использование доноров ценных признаков растений в селекции новых сортов озимой ржи // *Достижения науки и техники АПК*. 2015. № 7. С. 7–12.
4. Geiger H., Miedaner T. Rye (*Secale cereale* L.) // *Cereals. Handbook of Plant Breeding* / eds. M. Carena. New York: Springer, 2009. Vol. 3. P. 157–181. doi: 10.1007/978-0-387-72297-9_4.
5. Гончаренко А. А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. 369 с.
6. Geiger H. H. Strategies of Hybrid Rye Breeding // *Vortr. Pflanzenzucht*. 2007. Vol. 41. P. 1–5.
7. Genetic architecture of plant height in winter rye introgression libraries / T. Miedaner, B. U. Muller, H.-P. Piepho, et al. // *Plant breeding*. 2010. Vol. 130 (2). P. 209–216.
8. Шлегель Р. Селекция гибридных форм как стимул развития молекулярно-генетических исследований у ржи // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015. Т. 19 (5). С. 589–603. doi: 10.18699/VJ15.076.
9. Урбан Э. П., Гордей С. И. Селекция и проблемы возделывания гетерозисных гибридов F1 озимой ржи в Республике Беларусь // *Вест. Нац. Акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук*. 2018. Т. 56. № 4. С. 448–455.
10. Wilde P., Miedaner T. Hybrid Rye Breeding // *The Rye Genome. Compendium of Plant Genomes* / M. T. Rabanus-Wallase, N. Stein. Cham: Springer, 2021. P. 13–41. doi: 10.1007/978-3-030-83383-1_2.
11. Sprague G. F., Tatum L. G. General and specific combining ability in single crosses of corn // *J. Amer. Soc. Agron.* 1942. Vol. 34. P. 923–932. doi: 10.2134/agronj1942.00021962003400100008x.
12. Melchinger A. E., Frish M. Genomic prediction in hybrid breeding: II. Reciprocal recurrent genomic selection with full-sib and half-sib families // *Theor. and Appl. Genetic*. 2023. Vol. 136. P. 203. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00122-023-04446-3> (дата обращения: 18.01.2024). doi: 10.1007/s00122-023-04446-3.
13. Miedaner T., Wilde P., Wortmann H. Combining ability of non-adapted sources for male-fertility restoration in Pampa CMS of hybrid rye // *Plant Breeding*. 2008. Vol. 124 (1). P. 39–43. doi: 10.1111/j.1439-0523.2004.01038.x
14. Wartosciowe komponenty rodzicielskie dla hodowli mieszańców zryta / J. Kolasinska, J. Jagodzinski, W. Brukwinski, et al. // *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatizacji Roslin*. 2015. No. 278. P. 27–38. doi: 10.37317/biul-2015-0003.
15. Селекция инбредных линий озимой ржи на общую и специфическую комбинационную способность и ее связь с селекционными признаками / А. А. Гончаренко, С. А. Ермаков, А. В. Макаров и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54. № 1. С. 88–92. doi: 10.15389/agrobiology.2019.1.
16. Изучение комбинационной способности инбредных линий озимой ржи по методу топкросса / А. А. Гончаренко, С. А. Ермаков, А. В. Макаров и др. // *Зерновое хозяйство России*. 2017. № 5. С. 5–12.
17. Лепешко Е. С., Костылева Л. М., Усатенко Т. В. Оценка комбинационной способности линий подсолнечника // *Зерновое хозяйство России*. 2020. № 4. С. 40–43. doi: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-40-43.
18. Оценка комбинационной способности линий кукурузы в диаллельных скрещиваниях по высоте початка / В. И. Жужукин, С. А. Зайцев, Д. П. Волков и др. // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 10. С. 50–55.
19. Оценка комбинационной способности белозерных линий кукурузы для создания белозерных гибридов в условиях предгорного района Ставропольского края / Ю. В. Сотченко, Л. А. Галговская, О. В. Теркина и др. // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2022. № 6 (110). С. 217–224. doi: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-217-224.
20. Кривошеев Г. Я., Игнатев А. С., Шевченко Н. А. Анализ комбинационной способности новых линий кукурузы различного происхождения в тестерных скрещиваниях // *Научный журнал Кубанского аграрного университета*. 2015. № 114. С. 1–11.
21. Вольф В. Г., Литун П. П. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности. Харьков: УНИИРСиГ им. В. Я. Юрьева, 1980. 75 с.
22. Laude T. P., Carena M. J. Diallel analysis among 16 maize populations adapted to the northern U. S. Corn Belt for grain yield and grain quality traits // *Euphytica*. 2014. Vol. 200 (1). P. 29–44.
23. Association between line per se and testcross performance for eight agronomic and quality traits in winter rye / T. Miedaner, D. D. Schwegler, P. Wilde, et al. // *Theoretical and Applied Genetics*. 2014. Vol. 127 (1). P. 33–41.

Поступила в редакцию 17.02.2024

После доработки 12.03.2024

Принята к публикации 02.04.2024