



Анализ комбинационной способности гибридов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к септориозу листьев и продуктивности

© 2023. А.В. Харина ✉, А.В. Волкова

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» г. Киров, Российская Федерация

В повышении эффективности селекционных работ по созданию сортов яровой мягкой пшеницы большое значение имеет информация о комбинационной способности исходного материала. В 2021-2022 гг. в условиях Кировской области изучали общую и специфическую комбинационную способность 8 сортов и 28 гибридов второго поколения мягкой яровой пшеницы по степени поражения септориозом листьев, крупности зерна и урожайности. Исследования проводили в естественных условиях развития на листьях *Parastagonospora nodorum*, так как молекулярно-генетически установлена принадлежность возбудителя септориоза именно к этому виду. В результате проведенных исследований для дальнейшей селекционной работы выделены 14 устойчивых гибридов F₂, характеризующихся средними значениями индекса устойчивости и медленным нарастанием инфекции. По комплексу селекционно-иммунологических признаков выделен гибрид Росинка 2 × Терция, сочетающий устойчивость к септориозу с высокой массой 1000 семян (41,6 г) и урожайностью (410,0 г/м²). Особо отмечен толерантный гибрид Степная 50 × Дарья, который при высокой степени поражения (34,2 %) сформировал крупное зерно (42,6 г) и максимальную урожайность (411,1 г/м²) для опыта урожайности. Проведенный дисперсионный анализ полученных данных показал, что сорт яровой пшеницы Терция (Россия) обладает существенно более высокой общей комбинационной способностью по всем изученным признакам и может быть их источником в селекционных программах. Кроме того, сорт Eros (Германия) наиболее эффективен как источник устойчивости к септориозу; Эгисар 29, Нива 2, Степная 50 и Росинка 2 (Россия) – источники крупности зерна; Дарья (Беларусь) – источник высокой урожайности. В результате анализа показателя доминирования у большинства изучаемых гибридов обнаружено аддитивное действие генов на проявление устойчивости к поражению септориозом листьев и крупности семян. Эффект гетерозиса по устойчивости к болезни отмечен у 21,4 %, по массе 1000 семян – у 42,9 %; продуктивности – у 50,0 % изученных гибридных комбинаций.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., *Parastagonospora nodorum*, общая комбинационная способность, специфическая комбинационная способность, индекс устойчивости, масса 1000 семян, масса зерна с 1 м²

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема FNWE-2022-0001).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Харина А. В., Волкова Л. В. Анализ комбинационной способности гибридов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к септориозу листьев и продуктивности. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):231-239. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.231-239>

Поступила: 22.12.2022

Принята к публикации: 07.03.2023

Опубликована онлайн: 25.04.2023

Analysis of the combinational ability of spring soft wheat hybrids according to the resistance to leaf *Septoria* and plant productivity

© 2023. Anastasiya V. Kharina ✉, Lyudmila V. Volkova

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

In increasing the efficiency of breeding work on the creation of spring soft wheat varieties information about the combinational ability of the source material is of great importance. In 2021-2022 in the conditions of the Kirov region the general and specific combinational ability of 8 varieties and 28 hybrids of the second generation of spring soft wheat was studied according to the degree of leaf septoria damage, grain size and yield. The studies were carried out under natural conditions of development on the leaves of *Parastagonospora nodorum* as the molecular-genetic affiliation of the causative agent of septoria blotch to this species had been established. As the result of the conducted studies, for further breeding work there were selected 14 resistant F₂ hybrids characterized by average values of the resistance index and a slow growth of infection. According to the complex of selective-immunological traits, the hybrid Rosinka 2 × Tertsiya was isolated, combining resistance to septoria with a high mass of 1000 seeds (41.6 g) and yield (410.0 g/m²). The tolerant hybrid of the Stepnaya 50 × Daria was particularly noted, which with a high degree of damage (34.2 %) formed a large grain (42.6 g) and the maximum yield for the experiment (411.1 g/m²). The conducted dispersion analysis of the data obtained has shown that the spring wheat variety Tertsiya (Russia) has a significantly high overall combinational ability (OCA) by all the studied traits and can be their source in breeding programs. Moreover, the Epos variety (Germany) is the most effective as a source of resistance to septoria;

Egisar 29, Niva 2, Stepnaya 50 and Rosinka 2 (Russia) are sources of grain size; Daria (Belarus) is a source of high yield. As the result of the analysis of the dominance index in most of the studied hybrids, the additive effect of genes on the manifestation of resistance to leaf septoria and seeds size was found. The effect of heterosis by disease resistance was observed in 21.4 %, by weight of 1000 seeds – in 42.9 % and by productivity – in 50.0 % of the studied hybrid combinations.

Keywords: *Triticum aestivum* L., *Parastagonospora nodorum*, total combinational ability, specific combinational ability, stability index, mass of 1000 seeds, grain mass per 1 m²

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme FNWE-2022-0001).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Kharina A. V., Volkova L. V. Analysis of the combinational ability of spring soft wheat hybrids according to resistance to leaf *Septoria* and plant productivity. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(2):231-239. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.24.2.231-239>

Received: 22.12.2022 Accepted for publication: 07.03.2023 Published online: 25.04.2023

С начала 1970-х годов на посевах пшеницы начало прогрессировать такое заболевание, как септориоз (*Septoria tritici* Desm., синоним – *Zymoseptoria tritici* (Desm.) и *Stagonospora nodorum* (Berk.), которое в настоящее время стало доминирующим в большинстве регионов России. Виды патогенов отличаются по биологическим требованиям к климатическим условиям среды, поэтому *S. tritici* чаще встречается в более теплых южных регионах РФ, *P. nodorum* – в северных и восточных [1]. Согласно многолетним исследованиям, на северо-востоке европейской части России основным возбудителем септориоза пшеницы является *P. nodorum*, в Волго-Вятском регионе его встречаемость в видовой структуре возбудителей составляет 59,7-64,4 % [2]. Кроме того, *P. nodorum* не имеет органотропной специализации и поражает не только листья, но и стебли, колосковые чешуйки и семена пшеницы [2, 3]. Эти биоэкологические факторы патогена являются основанием для выбора видов *Septoria* при исследованиях в конкретных регионах.

Потери урожая от септориоза в годы эпифитотий достигают 20-40 % [4]. Внедрение в производство длительно устойчивых сортов пшеницы зависит от успехов селекции на устойчивость к этой болезни, и прежде всего от наличия исходного материала [5]. Его подбор на основе комбинационной способности родительских форм – важнейший этап в селекции пшеницы. На результатах анализа гибридов F_1 и F_2 можно прогнозировать селекци-

онную ценность исходных форм и провести отбор в последующих поколениях [6, 7, 8, 9]. Изучение комбинационной способности позволяет также иметь представление о донорских способностях сортов, роли и характере взаимодействия генов в наследовании признаков и свойств организма [10, 11]. В исследованиях многих авторов отмечалось преимущество этого метода при оценке исходного селекционного материала на элементы продуктивности [12, 13, 14], длину стебля [15], продуктивную кустистость [16] и устойчивость к полеганию [17]. Комбинационная способность бывает общей (ОКС) и специфической (СКС). Под общей комбинационной способностью понимается средняя ценность родительских сортов в гибридных комбинациях, а под специфической – случаи, когда конкретные гибриды оказываются относительно лучше или хуже, чем можно было ожидать на основе среднего качества сортов, участвующих в скрещиваниях. Различия между линиями по ОКС сводятся к аддитивной генетической вариансе, характеризующей исходную популяцию, а различия по СКС – к неаддитивной вариансе (доминирование + взаимодействие). В силу этого при повышении коэффициента инбридинга возрастает роль именно последней¹.

Разработка методов оценки ОКС и СКС и соотношения между ними открывает новые возможности и для прогнозирования гетерозисного эффекта в потомстве от скрещивания различных генетически отличающихся линий².

¹Вольф В. Г., Литун П. П., Хавелова А. В., Кузьменко Р. И. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности. Харьков, 1980. 75 с.

²Рокицкий П. Ф. Введение в статистическую генетику. Минск: «Вышэйная школа», 1978. 448 с.

Цель исследований – выявление перспективных для селекции форм яровой мягкой пшеницы на основе изучения общей и специфической комбинационной способности гибридов второго поколения по признакам устойчивости к септориозу листьев, крупности зерна и урожайности.

Новизна исследований – впервые изучены общая и специфическая комбинационные способности сортов и гибридов второго поколения яровой мягкой пшеницы по устойчивости к септориозу листьев для дальнейшей селекционной работы по созданию высокопродуктивных и устойчивых к болезни сортов.

Материал и методы. Исследования проводили в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Материалом служили 28 гибридов F_2 и 8 родительских форм яровой мягкой пшеницы из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (ВИР), высеянных в гибридном питомнике на делянках 1,0 м² в 2-кратной повторности. В 2021-2022 годах уровень влагообеспеченности в период «выход в трубку-молочная спелость», оцененный по величине гидротермических коэффициентов (1,89...2,13), косвенным образом свидетельствовал о благоприятных условиях для развития возбудителей септориоза яровой мягкой пшеницы.

Для подтверждения видовой идентификации образцы с поверхности листьев перед оценкой растений подвергали ПЦР-анализу в режиме реального времени с использованием коммерческой тест-системы «Септориоз злаков (*Stagonospora nodorum*)» («Агродиагностика», Россия). У всех образцов молекулярно-генетически установлена принадлежность к виду *P. nodorum* [18].

Тестирование гибридов и родительских форм пшеницы по возрастной устойчивости к септориозу проводили на естественном фоне в период наибольшего развития болезни (молочная спелость зерна), но до начала естественного отмирания листьев. Объем выборки для анализа – не менее 20 растений каждого сорта в 2-кратной повторности. Учет септориоза

листьев проводили в динамике (пять раз за вегетацию) с момента появления признаков болезни и через равные промежутки времени для выявления сортов, характеризующихся устойчивостью и медленным нарастанием инфекции (*slow rusting*).

Для характеристики изучаемых сортов пшеницы по устойчивости к септориозу использовали методику и шкалу, описанную Т. М. Коломиец с соавт.³. Далее рассчитывали показатель ПКРБ (площадь под кривой развития болезни), который является основным критерием специфической устойчивости. Индекс устойчивости (ИУ) рассчитывали как соотношение ПКРБ у тестируемого сорта и наиболее восприимчивого. По значениям ИУ сорта были условно разделены на группы: высокоустойчивые (0,10-0,35); среднеустойчивые (0,36-0,65); слабоустойчивые (0,66-0,80); высоковосприимчивые (более 0,81). Для дальнейших исследований по значениям ИУ отбирали высокоустойчивые и среднеустойчивые сорта, обладающие также относительно низкими значениями показателя ПКРБ, что свидетельствует о замедленном развитии болезни [19].

Сорта и гибриды убирали в фазу полной спелости, учитывали массу 1000 семян и массу зерна с 1 м².

У гибридов F_2 рассчитывали показатель доминирования ($S(ha)$) по признакам (степень поражения септориозом, масса 1000 семян и урожайность) с использованием формулы Ф. Петр, К. Фрей (приводится по В. И. Кривченко)⁴.

Оценки общей и специфической комбинационной способности для неполных диалельных скрещиваний проводили по методике В. Г. Вольфа с соавт.⁵.

Для статистической обработки данных использовали методы дисперсионного и корреляционного анализов по Б. А. Доспехову⁶ с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и их обсуждение. В естественных условиях развития *Parastagonospora nodorum* степень поражения септориозом у 28 изучаемых гибридов F_2 составила в среднем 16,8 %, изменяясь от 9,6 (гибрид Дарья × Эгисар 29) до 34,2 % (гибрид Степная 50 × Дарья).

³Коломиец Т. М., Пахолкова Е. В., Дубовая Л. П. Отбор исходного материала для создания сортов пшеницы с длительной устойчивостью к септориозу: методические рекомендации. М.: Печатный город, 2017. 56 с.

⁴Кривченко В. И. Идентификация генов устойчивости пшеницы к грибным заболеваниям: методические указания. Л., 1989. 34 с.

⁵Вольф В. Г., Литун П. П., Хавелова А. В., Кузьменко Р. И. Указ. соч.

⁶Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1968. 335 с.

Высокоустойчивых и сильновосприимчивых к септориозу комбинаций скрещивания не обнаружено. Основная часть гибридов (60,7 %) отнесена к группе устойчивых (степень поражения до 16,0 %), 7 гибридов – умеренно восприимчивых (степень поражения с 17,0 до 25,0 %), 4 гибрида – к группе восприимчивых (степень поражения более 25,0 %). Для более полной иммунологической характеристики генотипа

также важно знать скорость нарастания инфекции *Parastagonospora nodorum* на поверхности листа. Для этого, исходя из мониторинга развития септориоза, рассчитывали показатели ПКРБ и ИУ. В результате для дальнейших исследований выделены 14 устойчивых гибридов F_2 , характеризующихся средними значениями индексов устойчивости и медленным нарастанием инфекции (табл. 1).

*Таблица 1 – Характеристика гибридов F_2 яровой мягкой пшеницы по хозяйственно ценным признакам /
Table 1 – Characteristics of F_2 hybrids of spring soft wheat by agronomic traits*

<i>Гибрид / Hybrid</i>	<i>Степень поражения септориозом листьев, % / Degree of leaf Septoria damage, %</i>	<i>ПКРБ / Area under the disease development curve</i>	<i>Индекс устойчивости / Stability Index</i>	<i>Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g</i>	<i>Масса зерна с 1 м², г / Grain weight per 1 m², g</i>
Росинка 2 × Нива 2 / Rosinka 2 × Niva 2	12,5	175	0,46	38,0	274,7
Росинка 2 × Терция / Rosinka 2 × Tertsiya	10,9	158	0,41	41,6	410,0
UL Alta Blanca × Терция / UL Alta Blanca × Tertsiya	15,9	218	0,57	36,8	397,9
UL Alta Blanca × Нива 2 / UL Alta Blanca × Niva 2	13,3	183	0,48	39,8	289,8
Дарья × Эгисар 29 / Daria × Egisar 29	9,6	136	0,35	40,4	298,0
Дарья × Росинка 2 / Daria × Rosinka 2	10,9	158	0,41	38,0	305,3
Дарья × UL Alta Blanca / Daria × UL Alta Blanca	10,9	148	0,38	35,2	255,1
Ерос × Эгисар 29 / Epos × Egisar 29	10,9	148	0,38	37,2	297,0
Ерос × UL Alta Blanca	12,5	175	0,46	35,2	243,9
Нива 2 × Эгисар 29 / Niva 2 × Egisar 29	15,0	193	0,50	42,4	265,5
Терция × Эгисар 29 / Tertsia × Egisar 29	14,2	201	0,52	39,0	288,3
Терция × UL Alta Blanca / Tertsia × UL Alta Blanca	11,7	166	0,43	38,8	286,4
Степная 50 × Ерос / Stepnaya 50 × Epos	14,2	193	0,50	39,2	352,1
Степная 50 × Терция / Stepnaya 50 × Tertsia	13,3	193	0,50	41,0	353,9
Степная 50 × Дарья / Stepnaya 50 × Daria	34,2	386	1,0	42,6	411,1
Среднее / Average	16,8	198	0,52	39,2	304,7
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	2,06	-	-	1,95	87,9

Масса 1000 семян в среднем составила 39,2 г. Наиболее крупное зерно получено у гибридов Степная 50 × Дарья (42,6 г), Нива 2 × Эгисар 29 (42,4 г) и Росинка 2 × Терция (41,6 г).

Статистически значимое превышение массы зерна с 1 м² отмечено у гибридов UL Alta Blanca × Терция (397,9 г/м²), Росинка 2

× Терция (410,0 г/м²) и Степная 50 × Дарья (411,1 г/м²).

Таким образом, по комплексу селекционно-иммунологических признаков выделен гибрид Росинка 2 × Терция, сочетающий устойчивость к септориозу с высокой массой 1000 семян и урожайностью.

Следует также выделить толерантный гибрид Степная 50 × Дарья, который при высокой степени поражения септориозом (34,2 %) сформировал крупное зерно (42,6 г) и максимальную (411,1 г/м²) в опыте урожайность.

Для оценки взаимодействия генов и количественных признаков изучена комбинационная способность гибридов и родительских форм.

Результаты дисперсионного анализа экспериментальных данных свидетельствуют о высокой значимости эффектов ОКС по всем признакам у родительских форм. Существенность отличий установлена относительно среднего значения ОКС, равного нулю (табл. 2). По признаку «степень поражения септориозом» выявлены существенно значимые более высокие значения ОКС у родительских форм Терция и Eros, низкое – у сорта Степная 50.

Таблица 2 – Эффекты общей комбинационной способности (ОКС) родительских форм яровой мягкой пшеницы по хозяйственно ценным признакам /

Table 2 – Effects of the general combinational ability (GCA) of parent forms of spring soft wheat according to agronomic traits

Сорт / Variety	Степень поражения септориозом листьев / Degree of leaf Septoria damage		Масса 1000 семян / Weight of 1000 seeds		Масса зерна с 1 м ² / Grain weight per 1 m ²	
	%	ОКС / GCA	г / g	ОКС / GCA	г / g	ОКС / GCA
Эгисар 29 / Egisar 29	40,1	0,10	41,3	0,53	393,7	-2,49
Терция / Tertsia	14,0	0,19	38,4	0,20	449,2	3,64
Росинка 2 / Rosinka 2	38,0	-0,17	40,8	0,18	341,3	0,89
Дарья / Daria	18,0	-0,11	37,7	-0,80	472,8	2,93
UL Alta Blanca	30,7	-0,16	37,2	-0,30	397,1	-2,22
Eros	8,8	0,21	39,0	-0,90	460,7	-2,13
Нива 2 / Niva 2	14,5	0,15	41,6	0,52	466,8	0,92
Степная 50 / Stepnaya 50	39,3	-0,21	44,2	0,57	455,3	-1,54
Среднее / Average	20,44	0	40,0	0	429,6	0
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	10,6	0,18	3,47	0,06	-	2,92

По признаку «крупность зерна» родительские формы Эгисар 29, Нива 2, Терция, Росинка 2 и Степная 50 обладали высокой ОКС, сорта UL Alta Blanca, Eros и Дарья – низкой ОКС. По признаку «масса зерна с 1 м²» высокая ОКС отмечена у сортов Дарья и Терция. По всем трем анализируемым признакам высокими значениями ОКС характеризовался сорт Терция.

Таким образом, сорта Терция и Eros наиболее эффективны как источники устойчивости к септориозу, Эгисар 29, Нива 2, Терция, Росинка 2 и Степная 50 – источники крупности зерна, Терция и Дарья – источники высокой урожайности.

Для оценки аллельного и неаллельного взаимодействия между генотипами родительских форм в конкретной комбинации скрещиваний определяли отклонения показателей от ожидаемых аддитивных эффектов родительских форм проверяемого гибрида – эффекты

специфической комбинационной способности (СКС) (табл. 3).

По признаку «степень поражения септориозом» достоверно высокую по отношению к среднему значению СКС имели гибриды: Eros × UL Alta Blanca; Eros × Росинка 2; Росинка 2 × Eros; Дарья × UL Alta Blanca; Дарья × Росинка 2; Росинка 2 × Дарья.

Обоснование родительских форм, используемых для скрещиваний, основано не только на данных комбинационной способности, но и на наследуемости тех или иных признаков сорта. Анализируя показатель доминирования, у 28,6 % изучаемых гибридов обнаружено аддитивное действие генов по степени поражения септориозом при значениях $S(ha)$ от -0,5 до +0,5. Депрессия признака ($S(ha) < -1,0$) наблюдалась у четвертой части гибридов. Гетерозис выявлен у 21,4 % гибридов при $S(ha) > +1,0$. В целом действие рецессивных генов выявлено у 14,3 %, а доминантных – у 10,7 % гибридных комбинаций.

Таблица 3 – Эффекты специфической комбинационной способности (СКС) и наследование признаков у гибридов F_2 яровой мягкой пшеницы /

Table 3 – Effects of a specific combination ability (SCA) and inheritance of traits in F_2 hybrids of spring soft wheat

Гибрид / Hybrid	Степень поражения септориозом листьев / Degree of leaf Septoria damage		Масса 1000 семян / Weight of 1000 seeds		Масса зерна с 1 м ² / Grain weight per 1 m ²	
	СКС / SCA	S (ha)*	СКС / SCA	S (ha)	СКС / SCA	S (ha)
Эгисар 29 × Дарья / Egisar 29 × Daria	1,26	+0,03	2,06	-0,7	4,0	-0,4
Эгисар 29 × Epos / Egisar 29 × Epos	1,32	-0,18	2,10	+0,85	3,7	+24,0
Росинка 2 × Дарья / Rosinka 2 × Daria	1,53	-0,70	1,31	-0,33	5,6	-1,06
Росинка 2 × Epos / Rosinka 2 × Epos	1,59	-0,50	1,36	-0,05	5,3	+0,18
Дарья × Эгисар 29 / Daria × Egisar 29	1,26	+0,72	2,06	+1,46	4,0	-0,36
Дарья × Росинка 2 / Daria × Rosinka 2	1,53	+0,23	1,31	+0,33	5,6	+0,39
Дарья × UL Alta Blanca / Daria × UL Alta Blanca	1,57	-0,43	1,63	0	8,71	+0,03
Epos × Эгисар 29 / Epos × Egisar 29	1,32	+0,67	2,10	0	3,7	-0,15
Epos × Росинка 2 / Epos × Rosinka 2	1,60	-1,00	1,36	-0,05	5,3	+0,29
Epos × UL Alta Blanca	1,63	-1,00	1,67	+1,86	8,41	+0,02
Степная 50 × Дарья / Stepnaya 50 × Daria	1,22	-1,64	1,47	+1,0	7,65	+1,92
Среднее по опыту / Average by the experiment	1,16	0,03	1,26	1,83	2,73	2,0
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,24	-	0,60	-	4,92	-

* S (ha) – показатель доминирования признака / indicator of the dominance of the trait

По признаку «масса 1000 семян» достоверно высокую СКС по отношению к среднему значению имели гибриды Эгисар 29 × Epos, Epos × Эгисар 29, Эгисар 29 × Дарья, Дарья × Эгисар 29.

Показатель доминирования «масса 1000 семян» изменялся от -0,7 (гибрид Эгисар 29 × Дарья) до +17,0 (гибрид Росинка 2 × Терция). У большинства гибридов (46,4 %) выявлено аддитивное действие генов; у 42,9 % – гетерозис. Действие рецессивных и доминантных генов обнаружено у 7,1 и 3,6 % гибридных комбинаций соответственно.

По признаку «масса зерна с 1 м²» достоверно высокое значение СКС по отношению к среднему отмечено у гибридов: Дарья × UL Alta Blanca; Epos × UL Alta Blanca; Степная 50 × Дарья. Несущественное превышение СКС отмечено у гибридов: Росинка 2 × Дарья и Дарья × Росинка 2 (5,6); Росинка 2 × Epos и Epos × Росинка 2 (5,3); Эгисар 29 × Дарья

и Дарья × Эгисар 29 (4,0); Epos × Эгисар 29 и Эгисар 29 × Epos (3,7).

Показатель доминирования признака варьировал от -1,28 (гибрид Нива 2 × Росинка 2) до +24,0 (гибрид Эгисар 29 × Epos). У 50,0 % гибридов проявился гетерозис по урожайности. Аддитивное действие генов отмечено у 39,3 % изученных гибридов. У двух гибридов (Росинка 2 × Дарья, Нива 2 × Росинка 2) наблюдали депрессию признака и у одного (Терция × UL Alta Blanca) – действие доминантных генов.

Заключение. В результате проведенных исследований для дальнейшего изучения отобрано 14 устойчивых гибридов F_2 , характеризующихся средним индексом устойчивости и медленным нарастанием инфекции, вызванной *Parastagonospora nodorum*.

По комплексу селекционно-иммунологических признаков выделен гибрид Росинка 2 × Терция, сочетающий устойчивость к септориозу с высокой массой 1000 семян и урожайностью.

Особо отмечен толерантный гибрид Степная 50 × Дарья, который при высокой степени поражения септориозом листьев (34,2 %) сформировал крупное зерно (42,6 г) и максимальную (411,1 г/м²) в опыте урожайность.

Проведенный дисперсионный анализ полученных данных показал, что сорт яровой пшеницы Терция обладает существенно более высокими значениями общей комбинационной способности по всем изученным признакам и может быть их источником в селекционных программах.

Кроме того, сорта Терция и Ерос наиболее эффективны как источники устойчивости

к септориозу; Эгисар 29, Нива 2, Терция, Степная 50 и Росинка 2 – источники крупности зерна; Терция и Дарья – источники высокой урожайности.

В результате анализа показателя доминирования у большинства изучаемых гибридных комбинаций обнаружено аддитивное действие генов на проявление устойчивости к поражению септориозом (28,6 %) и крупности зерна (46,4 %). Эффект гетерозиса по устойчивости к болезни отмечен у 21,4 %, по массе 1000 семян – у 42,9 % и по продуктивности – у 50,0 % изученных комбинаций.

Список литературы

1. Санин С. С., Корнева Л. Г., Поляков Т. М. Прогноз риска развития эпифитотий септориоза листьев и колоса пшеницы. Защита и карантин растений. 2015;(3):33-36. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23077289> EDN: TLAAAJ
2. Бакулина А. В., Харина А. В., Широких А. А. Септориоз листьев и колоса пшеницы: генетический контроль устойчивости хозяина (обзор). Теоретическая и прикладная экология. 2020;(2):26-35. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-2-026-035> EDN: TELANX
3. Санин С. С., Назарова Л. Н., Стрижекозин Ю. А., Корнева Л. Г., Жохова Т. П., Полякова Т. М., Копорова Т. И. Фитосанитарная обстановка на посевах пшеницы в Российской Федерации (1991-2008 гг.). Защита и карантин растений. 2010;(2):70-80.
4. Коломиец Т. М., Панкратова Л. Ф., Скatenок О. О., Пахолкова Е. В. Создание генбанка источников устойчивости сортов пшеницы к септориозу. Защита и карантин растений. 2015;(7):44-46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23688479> EDN: TYJTHL
5. Харина А. В., Шешегова Т. К. Сравнительный анализ методов оценки яровой мягкой пшеницы на устойчивость к *Parastagonospora nodurum* и поиск источников признака для селекции. Аграрная наука Северо-Востока. 2022;23(2):230-238. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.230-238> EDN: JBCKUY
6. Казак А. А. Комбинационная способность сортов яровой пшеницы сибирской селекции в топкроссном скрещивании. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2020;(4(63)):63-67. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44434181> EDN: VIENJX
7. Косенко С. В., Кривобочек В. Г. Комбинационная способность и генетический контроль массы зерна с растения озимой мягкой пшеницы в диаллельных скрещиваниях. Аграрный научный журнал. 2017;(10):15-19. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30624378> EDN: ZUDZIX
8. Валекжанин В. С., Коробейников Н. И. Комбинационная способность сортов и линий мягкой яровой пшеницы в системе топкроссных скрещиваний по основным элементам продуктивности растений в условиях Приобской лесостепи Алтайского края. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022;(6(212)):5-11. DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-212-6-5-11> EDN: WVOVEB
9. Han Y.-y., Wang K.-y., Liu Z.-q., Pan S.-h., Zhao X.-y., Zhang Q., Wang S.-f. Research on hybrid crop breeding information management system based on combining ability analysis. Sustainability. 2020;12(12):4938. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12124938>
10. Некрасова О. А., Некрасов Е. И. Изучение комбинационной способности озимой пшеницы (обзор). Зерновое хозяйство России. 2018;(2(56)):17-20. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34875865> EDN: UOGAPY
11. Амунова О. С., Волкова Л. В. Генетико-статистический анализ комбинационной способности сортов яровой пшеницы по устойчивости к засухе в ювенильный период развития. Аграрная наука Северо-Востока. 2020;21(3):253-262. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.253-262> EDN: DQXNYR
12. Юсов В. С., Евдокимов М. Г., Шпигель А. Л. Комбинационная способность сортов и линий яровой твердой пшеницы по элементам продуктивности и качеству клейковины. Аграрный вестник Урала. 2022;(9(224)):59-70. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-224-09-59-70> EDN: VTLSXF
13. Kumar A., Mishra V. K., Vyas R. P., Singh V. Heterosis and combining ability analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Breeding and Crop Science. 2011;(3(10)):209-217. URL: https://academicjournals.org/article/article1380005888_Kumar%20et%20al.pdf

14. Mwadzingeni L., Shimelis H., Tsilo T. J. Combining ability and gene action controlling yield and yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought-stressed and nonstressed conditions. *Journal of Plant Breeding*. 2018;137(4):502-513. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbr.12609>
15. Джаббаров И. Ш., Маджидова Т. Р. Комбинационная способность сортообразцов мягкой яровой пшеницы по признаку «длина стебля». *Научное обозрение. Биологические науки*. 2017;(4):16-20. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30336098> EDN: YMWCER
16. Косенко С. В. Комбинационная способность и генетический контроль продуктивной кустистости озимой мягкой пшеницы. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2017;(8(154)):5-9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29656347> EDN: YYZFH
17. Глушаков Д. А., Юсов В. С., Евдокимов М. Г., Кирьякова М. Н. Комбинационная способность сортов твердой пшеницы в Западной Сибири в связи с устойчивостью к полеганию. *Новости науки в АПК*. 2019;(3(12)): 499-503. DOI: <https://doi.org/10.25930/2218-855X/125.3.12.2019> EDN: RXQAYS
18. Бакулина А. В., Попыванов Д. В., Харина А. В. Изучение свойств местных изолятов фитопатогенного гриба *Parastagonospora nodorum*. *Теоретическая и прикладная экология*. 2022;(3):212-218. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-212-218> EDN: PRYVWZ
19. Коломиец Т. М., Панкратова Л. Ф., Пахолкова Е. В. Сорта пшеницы (*Triticum* L.) из коллекции GRIN (США) для использования в селекции на длительную устойчивость к септориозу. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(3):561-569. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2017.3.561rus> EDN: YZKVIJZ

References

1. Sanin S. S., Korneva L. G., Polyakov T. M. Forecast of risk of development of epiphytotic of a septoria leaf blotch of leaves and ear of wheat. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2015;(3):33-36. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23077289>
2. Bakulina A. V., Kharina A. V., Shirokikh A. A. Septoria tritici and Stagonospora nodorum blotch of wheat: genetic control of host resistance (review). *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2020;(2):26-35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-2-026-035>
3. Sanin S. S., Nazarova L. N., Strizhekozina Yu. A., Korneva L. G., Zhokhova T. P., Polyakova T. M., Kopyrova T. I. Phytosanitary situation in wheat crops in the Russian Federation (1991-2008). *Zashchita i karantin rasteniy*. 2010;(2):70-80. (In Russ.).
4. Kolomiets T. M., Pankratova L. F., Skatenok O. O., Pakholkova E. V. Creation of genebank of wheat resistance sources to septoria disease. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2015;(7):44-46. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23688479>
5. Kharina A. V., Sheshegova T. K. Comparative analysis of methods of assessing spring soft wheat for resistance to *Parastagonospora nodorum* and search for sources of a trait for breeding. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(2):230-238. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.230-238>
6. Kazak A. A. Combination ability of siberian breeding spring wheat varieties in topcross crossbreeding. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020;(4(63)):63-67. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44434181>
7. Kosenko S. V., Krivobochek V. G. Combination ability and genetic control of grain mass from plants of winter soft wheat in dialular crops. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal*. 2017;(10):15-19. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30624378>
8. Valekhanin V. S., Korobeynikov N. I. Combining ability of soft spring wheat varieties and lines in top-crossing system for the main elements of plant productivity in the forest-steppe of the Altai region's Ob river area. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2022;(6(212)):5-11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-212-6-5-11>
9. Han Y.-y., Wang K.-y., Liu Z.-q., Pan S.-h., Zhao X.-y., Zhang Q., Wang S.-f. Research on hybrid crop breeding information management system based on combining ability analysis. *Sustainability*. 2020;12(12):4938. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12124938>
10. Nekrasova O. A., Nekrasov E. I. The study of a combinative ability of winter wheat (review). *Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2018;(2(56)):17-20. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34875865>
11. Amunova O. S., Volkova L. V. Genetic and statistical analysis of the combining ability of spring wheat varieties for drought resistance in the juvenile period of development. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(3):253-262. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.253-262>
12. Yusov V. S., Evdokimov M. G., Shpigel A. L. Combining ability of varieties and lines of spring durum wheat for productivity elements and quality of gluten. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022;(9(224)):59-70. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-224-09-59-70>

13. Kumar A., Mishra V. K., Vyas R. P., Singh V. Heterosis and combining ability analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Breeding and Crop Science. 2011;(3(10)):209-217.

URL: https://academicjournals.org/article/article1380005888_Kumar%20et%20al.pdf

14. Mwadzingeni L., Shimelis H., Tsilo T. J. Combining ability and gene action controlling yield and yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought-stressed and nonstressed conditions. Journal of Plant Breeding. 2018;137(4):502-513. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbr.12609>

15. Dzhabbarov I. Sh., Madzhidova T. R. Combinational capability sortoobraztsov of soft spring-sown field by sign to stalk length. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki*. 2017;(4):16-20. (In Russ.).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30336098>

16. Kosenko S. V. Combining ability and genetic control of productive tilling capacity of winter bread wheat. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2017;(8(154)):5-9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29656347>

17. Glushakov D. A., Yusov V. S., Evdokimov M. G., Kiryakova M. N. Combining ability of grades wheat durum in Western Siberia due to the resistance to lodging. *Novosti nauki v APK*. 2019;(3(12)): 499-503. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25930/2218-855X/125.3.12.2019>

18. Bakulina A. V., Popyvanov D. V., Kharina A. V. Study of the properties of local isolates of *Parastagonospora nodorum*. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2022;(3):212-218. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-212-218>

19. Kolomiets T. M., Pankratova L. F., Pakholkova E. V. Wheat (*Triticum* L.) cultivars from grin collection (USA) selected for durable resistance to *septoria tritici* and *stagonospora nodorum* blotch. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(3):561-569. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2017.3.561rus>

Сведения об авторах

✉ **Харина Анастасия Владимировна**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии и селекции, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166-а, г. Киров, Кировская область, Российская Федерация, 610003, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0554-5814>, e-mail: Khavchas@yandex.ru

Волкова Людмила Владиславовна, кандидат биол. наук, зав. лабораторией селекции яровой мягкой пшеницы научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии и селекции, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166-а, г. Киров, Кировская область, Российская Федерация, 610003, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0837-8425>

Information about the authors

✉ **Anastasiya V. Kharina**, PhD in Agricultural Science, researcher, the Laboratory of Molecular Biology and Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166-a, Kirov, Kirov region, Russian Federation, 610003, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0554-5814>, e-mail: Khavchas@yandex.ru,

Lyudmila V. Volkova, PhD in Biology, Head of the Laboratory of Spring Soft Wheat Breeding, researcher at the Laboratory of Molecular Biology and Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0837-8425>



– Для контактов / Corresponding author