

УДК 632.1/.4:633.1(470.58)

DOI: 10.52463/22274227_2021_37_10

В.В. Евсеев

МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНО УСТОЙЧИВОГО СОРТА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ДЛЯ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «КУРГАНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ ИМЕНИ Т.С. МАЛЬЦЕВА», КУРГАН, РОССИЯ

V.V. Evseev

MODEL OF A COMPREHENSIVE RESISTANT SPRING WHEAT VARIETY FOR SOIL-CLIMATIC CONDITIONS OF THE KURGAN REGION

FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION «KURGAN STATE
AGRICULTURAL ACADEMY NAMED AFTER T.S. MALTSEV», KURGAN, RUSSIA

Вадим Валерьевич Евсеев

Vadim Valerievich Evseev

доктор сельскохозяйственных наук, доцент

vadim.evseev.70@mail.ru

Аннотация. В условиях ресурсосберегающих или «нулевых» обработок почвы, когда на поверхности поля остается масса растительных остатков, чрезвычайно обострилась фитосанитарная обстановка по многим листовым болезням пшеницы, первичная инфекция которых зимует на соломе, а также по корневым гнилям. Осложнению фитосанитарной ситуации, особенно по септориозу и пиренофорозу, способствовала и преимущественно химическая стратегия защиты растений. В этой ситуации особую актуальность приобретает селекция сортов пшеницы на комплексную устойчивость к ведущим патогенам и неблагоприятным факторам окружающей среды. Введение в агроэкосистему новых устойчивых сортов позволяет обеспечить изменение биологического разнообразия, расширение экологической ниши антагонистов, превалирование стабилизирующего типа естественного отбора в популяциях патогенов. В связи с этим цель работы состояла в разработке концептуальной модели (идиотипа) комплексно устойчивого к основным патогенам сорта пшеницы с признаками, отвечающими за оптимизацию взаимоотношений растений с вредными организмами. Основными задачами исследования были: выявление иммуногенетических механизмов местных сортов яровой пшеницы, снижающих биотический потенциал вредных организмов и сдерживающих темпы их приспособительной популяционной изменчивости; разработка концептуальной модели комплексно устойчивого сорта и методов отбора устойчивых форм растений. Впервые дана оценка всех иммуногенетических барьеров, которые способны эффективно и длительно защищать растения от воздействия инфекционных и неинфекционных агентов. Опираясь на экспериментально выявленные качественные и количественные параметры устойчивости зерновых культур к доминирующим фитопатогенам и ключевым неблагоприятным абиотическим факторам окружающей среды, а также на анализ имеющейся в научной литературе информации о механизмах и параметрах устойчивости растений, была разработана концептуальная модель сорта мягкой яровой пшеницы для условий Южного Зауралья с устойчивостью к комплексу фитопатогенных грибов и дефициту влаги. Показано, что селекция растений на устойчивость должна быть ориентирована в первую очередь на пирамидирование блока генов (полигенов) устойчивости с привлечением соответствующих методик, на формирование комплексной устойчивости к стрессорам различной природы. Подобные модели не имеют аналогов, так как исследования в этом направлении в ре-

гиональных НИИ (Курганский НИИСХ, Челябинский НИИСХ и др.) ранее не проводились.

Ключевые слова: идиотип сорта, яровая пшеница, комплексная устойчивость, пиренофороз, септориоз, корневые гнили, маркер-ориентированная селекция.

Abstract. In the conditions of resource-saving or “zero” soil cultivation when a mass of plant residues remains on the surface of the field, the phytosanitary situation for many leaf diseases of wheat, the primary infection of which hibernates on straw, as well as root rot, has become extremely aggravated. The complication of the phytosanitary situation, especially with the respect to septoria and pyrenoforosis, was also facilitated by the predominantly chemical strategy of plant protection. In this situation, the selection of wheat varieties for complex resistance to leading pathogens and unfavorable environmental factors acquires special relevance. The introduction of new resistant varieties into the agroecosystem allows for a change in biological diversity, expansion of the ecological niche of antagonists, and the prevalence of the stabilizing type of natural selection in pathogen populations. In this regard, the aim of the work was to develop a conceptual model (idiotype) of a complex resistant wheat variety to the main pathogens with traits that are responsible for optimizing the relationship of plants with pests. The main objectives of the study were to identify the immunogenetic mechanisms of local varieties of spring wheat, which reduce the biotic potential of harmful organisms and restrain the rate of their adaptive population variability; development of a conceptual model of a comprehensively resistant variety and methods for selecting resistant forms of plants. For the first time, an assessment is given of all immunogenetic barriers that are capable of effectively and long-term protection of plants from the effects of infectious and non-infectious agents. Based on the experimentally revealed qualitative and quantitative parameters of the resistance of grain crops to the dominant phytopathogens and key unfavorable abiotic environmental factors, as well as on the analysis of the information available in the scientific literature on the mechanisms and parameters of plant resistance, a conceptual model of the soft spring wheat variety was developed for the conditions of the Southern Trans-Urals. with resistance to a complex of phytopathogenic fungi and moisture deficit. It has been shown that plant breeding for resistance should be focused primarily on pyramiding a block of resistance genes (polygenes) using appropriate techniques, on the formation of complex resistance to stressors of various nature. Such models have no analogues, since research in this direction in regional research institutes (Kurgan Research Institute of Agriculture, Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, etc.) has not previously been carried out.

Keywords: variety idiotype, spring wheat, complex resistance, pyrenoforosis, septoria, root rot, marker-oriented selection.

Введение. Создание сортов, устойчивых к болезням и вредителям, является высокоэффективным и экологически безопасным способом защиты растений от вредных организмов, снижения потерь растениеводческой продукции и загрязнения окружающей природной среды пестицидами, минеральными удобрениями и другими агрохимикатами. Новый сорт – это новый пищевой и энергетический субстрат для возбудителя болезни или вредителя, который еще нужно освоить, на что, безусловно, потребуется время. Непривычный сорт – это еще и другие временные связи, другие возможности, другой микроклимат в посевах, другой уровень технологии выращивания и минерального питания. Средообразующее значение сортов в агробиоценозах делает их одним из важнейших факторов, обуславливающих структуру комплексов вредных и полезных организмов, их дифференциальное выживание, популяционную изменчивость и микроэволюцию [1, 2, 3].

В последнее время существенную роль в развитии селекции стали играть методы молекулярной биологии, гибридизации и секвенирования геномной ДНК растений, в частности, метода ПЦР-анализа [4, 5]. Применение молекулярных маркеров в селекции растений значительно ускорило процесс получения новых сортов за счет пирамидирования целевых генов, а также позволило реализовать новый подход в селекции – молекулярную паспортизацию сортов [6]. Сегодня методы маркер-ориентированной селекции начинают применять региональные селекционные центры Урала, Зауралья и Западной Сибири [7]. На базе упомянутой лаборатории развернуты исследования по разработке моделей устойчивых к комплексу вредных организмов сортов яровой пшеницы для почвенно-климатических условий Курганской области, с учетом молекулярно-генетических механизмов иммунитета. Целью работы является создание концептуальной модели сорта пшеницы, основанной на качественных и количественных параметрах механизмов и маркеров устойчивости к ключевым патогенам (септориоз, пиренофороз, корневые гнили и др.).

В соответствии с поставленной целью предполагалось решение следующих задач: 1) разработка методологических основ групповой и комплексной устойчивости яровой пшеницы к ведущим для региона исследования листовым инфекциям (септориоз, пиренофороз, бурая ржавчина) и корневым гнилям; 2) выявление иммуногенетических механизмов яровой пшеницы, снижающих биотический потенциал листовых инфекций и корневых гнилей; 3) разработка методов и принципов создания генотипов яровой пшеницы с групповой и комплексной устойчивостью к септориозу, пиренофорозу, бурой ржавчине (комплекс листовых инфекций) и корневым гнилям, включая разработку концептуальной модели и методов отбора устойчивых форм пшеницы; 4) поиск системы признаков (маркеров) для отбора устойчивых форм яровой пшеницы на основе качественных и количественных иммунологических параметров.

Методика. Работы по созданию модели сорта яровой пшеницы, обладающего устойчивостью к комплексу патогенов, проводятся на протяжении последних 10 лет (2012-2021 гг.).

Разработка концептуальной модели различного типа биологических систем проводилась на основе информационных банков данных механизмов, составляющих структуру иммуногенетической системы злаков, созданных в результате многолетних исследований, проведенных на базе лабораторий микробиологии и фитопатологии регионального центра фитосанитарного мониторинга агроландшафтов (Курган) и структурных подразделений Курганской государственной сельскохозяйственной академии, а также на базе генетического анализа с использованием хромосомных карт яровой пшеницы [8].

Генетический анализ был дополнен методом маркирования на уровне фенооблика растений групп полигенов, ответственных за формирование конституциональных барьеров устойчивости (метод маркерных генов, или генов-репортеров) [9, 10].

Водный статус тканей растений (определение интенсивности транспирации ве-

совым методом; определение водного дефицита растений; определение водоудерживающей способности растений методом «завядания»; определение интенсивности дыхания растений) определяли с помощью стандартных методов физиологии и биохимии растений [11, 12].

Оценка ёмкости экологической ниши для антагонистов дана с применением индекса Симпсона [13].

Результаты. Анализ работы региональных селекционных учреждений показывает, что оценку сортов на устойчивость проводят главным образом в полевых условиях, отбирая при этом сортообразцы, зараженные в меньшей степени, а также растения, на которых заболевание развивалось медленнее. При этом параметры, определяющие устойчивость растений к болезням и вредителям не конкретизируются, не моделируются и не входят в явном виде в модель сорта, создаваемого селекционером [14].

В связи с этим учет при разработке модели устойчивого сорта всех иммуногенетических барьеров, которые способны эффективно и длительно защищать растения от воздействия инфекционных и неинфекционных агентов, должен стать обязательным мероприятием. Для условий Южного Зауралья таких моделей никто и никогда не создавал, поэтому представлялось важным выполнить оценку состояния барьеров иммуногенетической системы для районированных сортов и разработать региональную концептуальную модель сорта яровой пшеницы с комплексной устойчивостью к ряду негативных факторов.

Устойчивость зерновых культур к возбудителям болезней в начальный период развития определяется преимущественно анатомо-морфологическими факторами – степенью опушенности листьев, толщиной кутикулы, уровнем лигнификации тканей листьев и корней, степенью развития клеток мезофилла листа, а также водным статусом тканей растений, в связи с чем основное внимание уделяли оценке этих параметров.

Для оценки использовали интегральный показатель состояния иммуногенетической

системы растения (IIS), который определяли путем преобразования значений исследуемых параметров растения в так называемую «шкалу желательности», на которой 0 соответствует неприемлемому состоянию параметра, а 1 – такому его значению, которое можно назвать идеальным. Промежуточные показатели параметров выражаются числами от 1 до 0, определяющими степень оптимальности каждого из них. Частные желательности (d_i) вычисляют путем преобразований:

$$d_i = \frac{N_i}{N_{opt.}}, \text{ если } N_i < N_{opt.}, \quad (1)$$

$$d_i = \frac{1-N_i}{10 \cdot N_{opt.}}, \text{ если } N_i > N_{opt.}, \quad (2)$$

где N_i – усредненное значение измеряемого параметра растения; $N_{opt.}$ – идеальное (желаемое) значение измеряемого параметра.

Интегральный показатель состояния иммуногенетической системы растения определяли как среднее геометрическое частных d_i :

$$IIS = \sqrt[i]{d_1, d_2, d_3 \dots d_i} \quad (3)$$

Прототипом для создания индекса иммуногенетической системы нам послужила функция желательности, используемая экологами в мониторинговых исследованиях состояния окружающей среды [15]. При интерпретации полученных значений индекса шкалу желательности разбивали на интервалы (таблица 1):

Таблица 1 – Оценка состояния иммуногенетической системы растения по интегральному показателю IIS

Состояние иммуногенетической системы	IIS
Отличное	1 – 0,8
Хорошее	0,8 – 0,6
Удовлетворительное	0,6 – 0,4
Плохое	0,4 – 0,2

В качестве объекта оценки был выбран широко распространенный и районированный на территории Курганской области сорт

яровой мягкой пшеницы Жигулевская (ныне из перечня районированных сортов снят, но все еще возделывается в отдельных хозяйствах; сильно поражается септориозом, пириенофорозом).

В результате проведенных в 2012-2015 гг. исследований выяснилось, что степень опушенности листьев в стадии кущения у сорта Жигулевская не превышает 19-20 волосков на 1 мм², что значительно ниже желаемого уровня (более 50 волосков/мм²). Толщина кутикулы (0,57 мкм – фактическая; желаемый уровень – 1,5 мкм), уровень накопления лигнина (0,21 мг·г⁻¹ – фактический; более 0,48 мг·г⁻¹ – желаемый уровень) и содержание в листьях сухих веществ (8% – фактическое; 11% и более – желательное) также существенно ниже оптимального уровня. Индекс состояния иммуногенетической системы растения (IIS), рассчитанный по 8 показателям, не превышает 0,6, что по шкале желательности соответствует только удовлетворительному уровню.

Водоудерживающая способность листьев растений, (фаза выколашивания) в среднем находится на уровне 75,3% (частная желательность d_i равна 0,94, т. е. показатель близок к оптимальному), содержание воды в листьях 87,3% ($d_i = 0,97$), содержание сухих веществ – 10,8% ($d_i = 0,83$), вымываемость органических веществ из листьев (количество органических веществ на 1 г сырого веса листьев в мл 0,01 н. $KMnO_4$ – 10,6, $d_i = 0,90$) почти в норме (несколько повышенная). Все это обеспечивает хорошие условия для развития растений в условиях засушливого лета. В листовом соке накапливается значительное количество фитонцидов, фитоалексинов, белков-ингибиторов.

Потребность растений во влаге определяется количеством воды (в граммах), необходимой для создания 1 г сухого вещества, т. е. транспирационным коэффициентом. Лучшие по засухоустойчивости формы злаков отличаются экономным расходом воды на транспирацию, что обеспечивает нормальную продуктивность при дефиците влаги. Исследователи отмечают высокую сопряженность показателей водоудерживающей способности верхних

развитых листьев на IV этапе органогенеза с прямой оценкой засухоустойчивости [16].

Выполненные в течение двух контрастных по влагообеспеченности вегетационных периодов (2014 г. – засуха; 2015 г. – нормальный по уровню увлажнения) наблюдения за показателями водного обмена различных сортов яровой пшеницы позволили конкретизировать параметры модели устойчивого и адаптивного сорта (таблицы 2, 3).

Наблюдения показали, что все сорта пшеницы отличались большей интенсивностью транспирации в условиях засушливого года. Однако сорт Терция (характеризуется как очень засухоустойчивый благодаря густому войлочному опушению листьев) расходовал воду весьма экономно, в отличие от сорта Тулунская 12, который терял много воды, защищаясь от перегрева. Наиболее сильно снижалась в условиях засухи у этого сорта и водоудерживающая способность листьев. Близким к Тулунской 12 оказался сорт Лютесценс 70, о котором известно, что для него характерна высокая чувствительность к дефициту влаги в период прорастания семян.

Как видим, ксероморфность структуры тканей, более мощное развитие сети проводящей системы, сильное опушение растений, толщина листьев способствуют сохранению воды в растении, обеспечивая реализацию механизма избегания засухи.

Таблица 2 – Интенсивность транспирации (мг H_2O / дм²·ч) листьев растений различных сортов яровой мягкой пшеницы (Курган, 2014-2015 гг.)

Вариант		Фазы развития растений		
		кущение	выход в трубку	цветение
2014 г. засуха	Жигулевская	123,4 ± 3,5	390,4 ± 3,3	442,9 ± 6,1
	Лютесценс 70	133,2 ± 4,5	425,4 ± 6,1	658,0 ± 9,2
	Тулунская 12	136,1 ± 5,1	623,2 ± 4,3	783,6 ± 13,1
	Терция	88,0 ± 2,4	166,9 ± 2,5	369,5 ± 7,6
2015 г. норма	Жигулевская	91,6 ± 4,1	299,1 ± 5,2	384,0 ± 10,2
	Лютесценс 70	98,0 ± 4,3	315,4 ± 8,7	617,2 ± 11,0
	Тулунская 12	105,4 ± 6,5	399,9 ± 7,3	623,2 ± 10,2
	Терция	75,1 ± 4,2	154,3 ± 5,9	289,4 ± 9,8

Таблица 3 – Водоудерживающая способность* (%) листьев различных сортов яровой мягкой пшеницы (Курган, 2014-2015 гг.)

Вариант		Фазы развития растений		
		кущение	выход в трубку	цветение
2014 г. засуха	Жигулевская	77,9 ± 2,4	71,4 ± 2,2	70,2 ± 1,2
	Лютесценс 70	67,1 ± 2,5	65,0 ± 2,1	60,7 ± 1,5
	Тулунская 12	63,7 ± 2,8	60,8 ± 2,3	58,6 ± 1,7
	Терция	91,0 ± 1,9	89,1 ± 1,8	88,0 ± 1,3
2015 г. норма	Жигулевская	81,5 ± 2,6	79,7 ± 2,3	79,6 ± 1,4
	Лютесценс 70	80,6 ± 2,7	78,9 ± 3,0	73,3 ± 1,6
	Тулунская 12	80,0 ± 2,6	79,2 ± 3,5	70,5 ± 1,7
	Терция	96,0 ± 2,4	94,2 ± 2,3	91,3 ± 1,2

* определяли методом «завядания» по Арланду на листьях с 20 растений

Вместе с тем в системе иммуногенетических барьеров растений имеются узкие места. Исследования, проведенные в 2016-2019 гг., показали, что у районированных сортов яровой пшеницы (Жигулевская, Терция, Тулунская 12, Лютесценс 70 и др.) преобладают биотипы с малым числом хлоренхимных тяжей в стебле (соломине) – $n = 32$ ($d_i = 0,53$), тяжи широкие и представляют собой отличную нишу для внедрения стеблевой ржавчины, способной сформировать в таких тяжях крупные пустулы с большим числом спор. Листовые пластинки имеют значительную ширину (в среднем 9,2 мм, $d_i = 0,65$), слабое опушение (29-30 волосков / мм², $d_i = 0,59$), недостаточную толщину кутикулы (1,98 мкм, $d_i = 0,79$) и относительно слабую лигнификацию тканей (0,38 мг·г⁻¹, $d_i = 0,79$). Общее состояние иммуногенетической системы сорта Жигулевская (IIS = 0,8) оценивается только как хорошее.

Особое положение занимает микробная синузия колоса и зерна. Ведущее значение в формировании этой специфической синузии также имеют анатомо-морфологические параметры растения (колоса): форма и плотность колоса – цилиндрический средней плотности (Терция), пирамидальный среднерыхлый (Фора, Ария), цилиндрический среднерыхлый (Курганская 1, Мальцевская 110), цилиндрический остистый (Коллективная 2), веретеновидный средней плотности (Омская 18, Тулунская 12), призматический средней плотности (Жи-

гулевская, Омская 20) .

От формы и плотности колоса, наличия или отсутствия остей зависит площадь парусности колоса, т. е. площадь поперечного сечения колоса, перпендикулярная ветровому потоку. Чем больше парусность колоса, тем больше пылевых частичек и конидий грибов и фрагментов гиф, находящихся в воздушном потоке в виде аэрозоля, осаждаются на колос. Второе место по значимости имеет опушенность колосковых чешуй либо наличие на них воскового налета, наличие или отсутствие хохолка у зерновок, глубина бороздки (мелкая, средняя, глубокая).

Оценка архитектоники колоса яровой пшеницы сорта Жигулевская, уровня концентрации водо- и спирторастворимых белков в экстрактах зерен свидетельствует о хорошем состоянии иммуногенетических барьеров (IIS = 0,8), тем не менее, несмотря на то что колос этого сорта имеет длинные ости (высокую парусность), призматическую форму и среднюю плотность, опушенное основание зерна, емкость экологической ниши микромицетов-антагонистов фитопатогенных грибов (под емкостью экологической ниши мы подразумеваем здесь меру разнообразия ресурсов, используемых видами сообщества, точнее, число микронизон (местообитаний) колоса, занимаемых видами данной синузии) сравнительно невелика. Расчет индекса Симпсона (D) для емкости экологической ниши антагонистов дал величину порядка 7,4, тогда как оптимальным его значением следует считать величину 20 и более. Таким образом, и экосистема колоса этого сорта имеет свои "проблемные" участки.

Опираясь на экспериментально выявленные качественные и количественные параметры устойчивости зерновых культур к доминирующим фитопатогенам и ключевым неблагоприятным абиотическим факторам окружающей среды, а также на анализ имеющейся в научной литературе информации о механизмах и параметрах устойчивости растений, была разработана концептуальная модель сорта мягкой яровой пшеницы для условий Южного Зауралья с устойчивостью к комплексу фитопатогенных грибов и дефициту влаги (таблица 4).

Таблица 4 – Концептуальная модель сорта мягкой яровой пшеницы с устойчивостью к комплексу фитопатогенов (2019-2021 гг.)

Барьеры иммуногенетической системы	Механизмы и параметры иммунологических барьеров	Патоагенты
Особенности роста и развития растений		
Ростовой (скорость роста вегетативных органов и корневой системы) Органогенетический (интенсивность органообразовательных процессов в онтогенезе)	Ускоренные темпы роста и формирования надземных и подземных органов и побегов	засуха, пыльная головня, корневая гниль
	Обеспеченность проростков и всходов зародышевыми корнями – не менее 5	засуха, корневая гниль
	Длина корней в расчете на единицу площади поверхности почвы – 100-110 см/см ²	засуха
	Ускоренное прохождение этапов органогенеза растений (сорт скороспелый)	засуха, листовые инфекции
Особенности архитектоники растения, структуры его органов, тканей и клеток		
Морфологический (архитектоника, макро- и микроструктуры растений)	Ксерофитный тип листа (длина и ширина клеток мезофилла листа – 15 x 8 мкм)	засуха
	Лист узкий с плотным расположением жилок (ширина листа – 6-7 мм) Высокая степень опушенности листа (более 50 волосков на 1 мм ²);	засуха, листовые инфекции засуха, листовые инфекции
	Толщина кутикулы листа – 2 мкм и более	мучнистая роса, бурая листовая ржавчина
	Колос плотный (2,3-2,8 колосков на 1 см длины колосового стержня), остистый	фузариоз, гельминтоспориоз
	Колосковые чешуи густоопушенные Закрытый тип цветения Стебель с числом хлоренхимных тяжей 50-60 шт.	засуха, ржавчина, фузариоз, пыльная головня, стеблевая ржавчина
	Число корневых волосков на 1 см – не менее 500 шт.	корневая гниль, засуха
Физиолого-биохимические особенности растений, микробиологические характеристики		
Физиологический (уровень физиологических процессов и обмена веществ в растениях)	Интенсивность транспирации листьев в фазе кущения – не более 75-80 мг H ₂ O / дм ² ч	засуха
	Коэффициент вымываемости органических веществ из листьев в фазе цветения – 9,5 и менее	комплекс листовых инфекций
Ингибиторный (накопление в растениях индуцируемых ингибиторов)	Водоудерживающая способность листьев в фазе кущения – не менее 85-90%	засуха
	Уровень лигнификации тканей корня и листа (содержание лигнина – 0,50 мг г ⁻¹ и более)	комплекс листовых инфекций, корневая гниль
	Высокий уровень накопления в листовом соке фитонцидов, фитоалексинов, белков-ингибиторов (прорастает не более 30% конидий фитопатогенов)	комплекс листовых инфекций

Разработку модели сорта пшеницы, обладающей блоками ценных генов (полигенов), проводили на базе генетического анализа с использованием хромосомных карт яровой пшеницы. Генетический анализ был дополнен методом маркирования на уровне фенооблика растений групп полигенов, ответственных за формирование конституциональных барьеров устойчивости (метод маркерных генов) [17].

Рассмотрим хромосомную карту *Triticum aestivum* L., чтобы определить блоки полезных генов, участвующих в защите растения от листовых и корневых инфекций. В коротком плече хромосомы 3A локализован ген устойчивости к септориозу Stb-6. На этой же хромосоме находится ген, отвечающий за красную окраску зерна (R1 – Redgrain). В хромосоме 6A находятся гены восприимчивости к стеблевой ржавчине (Sr8 и Sr13), а также гены-модификаторы устойчивости к септориозу [18].

Геном В весьма интересен для фитоиммунолога. В хромосоме 2B (плечо S) локализован ген воскового налета W1 (Waxy-1). Блок ценных генов хромосомы 7B представлен рецессивным геном e1 (early), находящимся в 39 локусе и детерминирующим скороспелость. В 23 е.к. от него находится ген пурпурной окраски стебля (Pc). Этот ген не связан напрямую с иммунитетом, но контролирует синтез антоцианов – полифенольных соединений, блокирующих продвижение грибницы патогенных микромицетов. В скрещиваниях оба гена можно сохранить в зависимости от поставленных задач.

В хромосомах 3D, 5D, 6D локализованы гены-модификаторы, влияющие на устойчивость к *S. nodorum*. Что касается хромосомы 7D, то она интересна тем, что на ней локализован ген Rc3 пурпурного колеоптиле (*Purple-coleoptile*), плейотропный в отношении высокой устойчивости к корневой гнили.

Известно, что в сложившихся агроэкологических условиях Курганской области наибольшую опасность для посевов яровой пшеницы представляет тандем «септориоз + корневая гниль». Известно также, что скороспелый сорт будет уходить от поражения септориозом, а сорт, имеющий антоциановую

окраску колеоптиле, существенно меньше поражаться корневой гнилью [19, 20]. Исходя из имеющихся данных, примером селекционного задания на создание сорта, устойчивого к тандему «септориоз + корневая гниль», может быть следующий: ген антоциановой окраски соломины яровой пшеницы расположен в 16-м, а в 39-м локусе той же хромосомы – ген скороспелости (e1). Вывести скороспелый сорт пшеницы для 1-й и 2-й агроклиматических зон Южного Зауралья, с антоциановым (пурпурным) подземным междоузлем (pc⁺), устойчивый к обыкновенной корневой гнили и септориозу.

Выводы. 1) Разработана система признаков (маркеров) для отбора устойчивых форм яровой пшеницы к комплексу листовых инфекций и корневым гнилям на основе качественных и количественных иммунологических параметров. Показано, что устойчивый сорт пшеницы должен иметь ксерофитный тип листа (ширина листа – 6-7 мм, опушенность – более 50 волосков на 1 мм², толщина кутикулы – не менее 2 мкм), хорошую и отличную обеспеченность проростков и всходов зародышевыми корнями (не менее 5), плотный колос, стебель с числом хлоренхимных тяжей – не менее 50.

2) Выявлены механизмы группового и комплексного иммунитета яровой пшеницы к листовым инфекциям и корневым гнилям. Ведущую роль играют ускоренное прохождение этапов органогенеза растений (сорт скороспелый), особенности архитектоники растения, структуры его органов, тканей и клеток, высокий уровень накопления в листовом соке фитонцидов, фитоалексинов, белков-ингибиторов, обеспечивающий прорастание не более 30% конидий фитопатогенов.

3) Анализ хромосомных карт яровой пшеницы позволил выявить ряд ценных маркерных генов и их блоков, которые могут с успехом использоваться в селекционных программах. Так, например, ген антоциановой окраски соломины яровой пшеницы (16-й локус хромосомы 7D) и ген скороспелости (39-й локус хромосомы 7D) способны надежно защитить пшеницу от наиболее опасного тандема «сеп-

ториоз + корневая гниль».

4) Разработка концептуальных моделей сортов яровой пшеницы с групповой и комплексной устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессорам должна проводиться с учетом блочной организации генома растений и полигенного контроля ценных для селекции на устойчивость признаков. При этом ключевыми моментами работы селекционера должны стать: генетический анализ локализации ценных блоков генов, обязательный учет при разработке модели сорта параметров иммуногенетической системы растения.

Список литературы

- 1 Научно обоснованные параметры конструирования устойчивых к вредителям сортов сельскохозяйственных культур / Н.А. Вилкова [и др.]. СПб: ВИЗР, 2004. 76 с.
- 2 Вилкова Н.А., Нефедова Л.И. Структурно-функциональная организация иммуногенетической системы Мятликовых и ее влияние на взаимосвязи с вредными организмами в агроэкосистемах // Вестник защиты растений. № 2 (84). 2015. С. 15-20.
- 3 Афанасенко О.С. Проблемы рационального использования генетических ресурсов устойчивости растений к болезням // Технологии создания и использования сортов и гибридов с групповой и комплексной устойчивостью к вредным организмам в защите растений. СПб.: ВИЗР, 2010. С. 3-10.
- 4 Хлесткина Е.К. Молекулярные методы анализа структурно-функциональной организации генов и геномов высших растений // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2011. Т. 15. № 4. С. 757-768.
- 5 Гулятьева Е.И., Орина А.С., Ганнибал Ф.Б. Эффективность молекулярных маркеров для выявления генов Lr35, Lr28 и Lr47 у мягкой пшеницы // Генетика. 2014. Т. 50 (2). С. 147-156.
- 6 Landjeva S., Korzun V., Börner A. Molecular markers: actual and potential contributions to wheat genome characterization and breeding // Euphytica. 2007. Vol. 156. Pp. 271-296.
- 7 Сочалова Л.П., Пискарев В.В. Устойчивость сортов яровой мягкой пшеницы к возбудителям инфекционных заболеваний в условиях изменяющегося климата Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 2. С. 21-25.
- 8 Захаров И.А. Генетические карты высших организмов. Л.: Наука, 1979. 155 с.
- 9 Голощапов А.П., Дробышева Е.А., Плотников Н.В., Семизельникова О.А. Новые технологии в защите растений. Яровая пшеница. Курган, 2005. 346 с.
- 10 Голощапов А.П. Методы селекции пшеницы на иммунитет. Курган: ГИПП «Зауралье», 2002. 112 с.
- 11 Лушникова Т.А. Практикум по физиологии растений. Курган: РИЦ Курганского государственного университета, 2018. 86 с.
- 12 Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. М.: Агропромиздат, 1985. 255 с.
- 13 Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 184 с.
- 14 Евсеев В.В. Экологически безопасная защита зерновых культур от болезней. Saarbrücken, Deutschland: Verlag Palmarium Academic Publishing / OmniScriptum GmbH&Co. KG, 2015. 272 с.
- 15 Никитина З.И. Микробиологический мониторинг наземных экосистем. Новосибирск: Наука, 1991. 222 с.
- 16 Боме Н.А., Боме А.Я., Белозерова А.А. Устойчивость культурных растений к неблагоприятным факторам среды. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2007. 192 с.
- 17 Методы исследований в защите растений, генетике, селекции и первичном семеноводстве / А.П. Голощапов [и др.] / под ред. А.П. Голощапова. Курган: ООО «Комстат», 2011. 208 с.
- 18 Зеленева Ю.В., Судникова В.П. Наследование признака устойчивости к возбудителю *Septoria tritici Robergeet Desm.* у сортов яровой пшеницы // Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам: вторая Всероссийская конференция (29 сентября-2 октября 2008 г.). СПб. 2008. С. 136-137.
- 19 Евсеев В.В. Септориозная пятнистость листьев зерновых культур в Зауралье / XII Зырянские чтения: материалы Всероссийской научно-практической конференции.

Курган: Изд-во Курганского государственного университета, 2014. С. 207-208.

20 Евсеев В.В. Септориоз пшеницы в Зауралье. Saarbrücken, Deutschland: Verlag LAPLAMBERT Academic Publishing / OmniScriptum GmbH&Co. KG, 2015. 130 с.

List of references

- 1 Scientifically substantiated parameters for the design of pest-resistant varieties of agricultural crops / N.A. Vilkova [et al.]. SPb: VIZR, 2004. 76 p.
- 2 Vilkova N.A., Nefedova L.I. Structural and functional organization of the immunogenetic system of the Myatlikovs and its influence on the relationship with harmful organisms in agroecosystems // Plant Protection News. № 2 (84). 2015. Pp. 15-20.
- 3 Afanasenko O.S. Problems of rational use of genetic resources of plant resistance to diseases // Technologies for the creation and use of varieties and hybrids with group and complex resistance to harmful organisms in plant protection. SPb.: VIZR, 2010. Pp. 3-10.
- 4 Khlestkina E.K. Molecular methods for the analysis of the structural and functional organization of genes and genomes of higher plants // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2011. Vol. 15. № 4. Pp. 757-768.
- 5 Gulyaeva E.I., Orina A.S., Hannibal F.B. Efficiency of molecular markers for detecting genes Lr35, Lr28, and Lr47 in common wheat // Russian Journal of Genetics. 2014. Vol. 50 (2). Pp. 147-156.
- 6 Landjeva S., Korzun V., Borner A. Molecular markers: actual and potential contributions to wheat genome characterization and breeding // Euphytica. 2007. Vol. 156. Pp. 271-296.
- 7 Sochalova L.P., Piskarev V.V. Resistance of spring bread wheat varieties to pathogens of infectious diseases in the changing climate of Western Siberia // Achievements of Science and Technology of AIC. 2017. Vol. 31. № 2. Pp. 21-25.
- 8 Zakharov I.A. Genetic maps of higher organisms. L.: Nauka, 1979. 155 p.
- 9 Goloshchapov A.P., Drobysheva E.A., Plotnikov N.V., Semizelnikova O.A. New technologies in plant protection. Spring wheat. Kurgan, 2005. 346 p.
- 10 Goloshchapov A.P. Wheat breeding methods for immunity. Kurgan: GIPP «Trans-Urals», 2002. 112 p.
- 11 Lushnikova T.A. Workshop on plant physiology. Kurgan: RIC Kurgan State University, 2018. 86 p.
- 12 Pleshkov B.P. Workshop on plant biochemistry. M.: Agropromizdat, 1985. 255 p.
- 13 Megarran E. Ecological diversity and its measurement. M.: Mir, 1992. 184 p.
- 14 Evseev V.V. Environmentally friendly protection of crops from disease. Saarbrücken, Deutschland: Verlag Palmarium Academic Publishing / OmniScriptum GmbH&Co. KG, 2015. 272 p.
- 15 Nikitina Z.I. Microbiological monitoring of terrestrial ecosystems. Novosibirsk: Nauka, 1991. 222 p.
- 16 Bome N.A., Bome A.Ya., Belozerova A.A. Resistance of cultivated plants to unfavorable environmental factors. Tyumen: Tyumen State University Publishing House, 2007. 192 p.
- 17 Research methods in plant protection, genetics, breeding and primary seed production / A.P. Goloshchapov [and others] / ed. A.P. Goloshchapov. Kurgan: OOO Comstat, 2011. 208 p.
- 18 Zeleneva Yu.V., Sudnikova V.P. Inheritance of the trait of resistance to the pathogen *Septoria tritici Roberge et Desm.* in varieties of spring wheat // Modern problems of plant immunity to harmful organisms: the second All-Russian conference (September 29-October 2, 2008). SPb. 2008. Pp. 136-137.
- 19 Evseev V.V. Septoria leaf spot of grain crops in the Trans-Urals / XII Zyryanov readings: materials of the All-Russian scientific-practical conference. Kurgan: Publishing house of the Kurgan State University, 2014. Pp. 207-208.
- 20 Evseev V.V. Wheat septoria in the Trans-Urals. Saarbrücken, Deutschland: Verlag LAPLAMBERT Academic Publishing / OmniScriptum GmbH&Co. KG, 2015. 130 p.