

# АГРОНОМИЯ

УДК 631.524.86:633.11«321»:632.4(571.1) Л.П. Россеева, И.А. Белан, Л.В. Мешкова, Н.П. Блохина, Л.Ф. Ложникова, Т.С. Осадчая, Н.В. Трубачеева, Л.А. Першина  
L.P. Rosseyeva, I.A. Belan, L.V. Meshkova, N.P. Blokhina, L.F. Lozhnikova, T.S. Osadchaya, N.V. Trubacheyeva, L.A. Pershina

## СЕЛЕКЦИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К СТЕБЛЕВОЙ РЖАВЧИНЕ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

### BREEDING SPRING SOFT WHEAT FOR RESISTANCE TO STEM RUST IN WEST SIBERIA

**Ключевые слова:** селекция, иммунитет, резистентность, патоген, раса, стеблевая ржавчина, коллекционные образцы, сорт, урожайность.

Представлены результаты селекции яровой мягкой пшеницы на устойчивость к стеблевой ржавчине. Объектом исследований служили изогенные линии с известными *Sr* генами патогена стеблевой ржавчины и новые сортообразцы, созданные в ФГБНУ «СибНИИСХ» и ИЦиГ СО РАН. Цель работы заключалась в создании устойчивого к стеблевой ржавчине селекционного материала яровой мягкой пшеницы с учетом структуры омской популяции данного патогена. Эпифитотийные по стеблевой ржавчине 2015 и 2016 гг. позволили объективно протестировать изучаемый материал к этому патогену. В полевых условиях проводились фенологические наблюдения и оценки на устойчивость к возбудителю стеблевой ржавчины. Установлено, что сорта Seri 82 и Cham-8 с геном *Sr31* в эпифитотийные годы проявляли устойчивость к омской популяции стеблевой ржавчины, а генотипы PBW343 и (Benno)/6\*LMPG, также несущие ген *Sr31*, были восприимчивы. Устойчивость к возбудителю как в фазе проростков, так и взрослого растения проявила линия Pollmer 2.1.1. (Triticale) с геном *Sr27*. Анализ патотипов стеблевой ржавчины по ключевым генам *Sr31*, *Sr 24* и *Sr36* позволяет предположить, что в омской популяции имеются расы TTKSK (*Sr31*), TTKST (*Sr31+Sr24*), TTTSK (*Sr31+Sr36*) и др. Установлены корреляционные зависимости устойчивости к стеблевой ржавчине с урожайностью, содержанием белка и массой 1000 зерен, а также выявлен высокий уровень связи между временем экспозиции росы и поражением растений этим патогеном. Выделены перспективные селекционные линии (Лютесценс 79/04-11, Лютесценс 82/09-7, Лютесценс 42/07-2, Лютесценс 340/10-5, Лютесценс 24/05-5 и др.) и ди гаплоиды (ДГ 208-24, ДГ 317-18 и ДГ 317-21), сочетающие повышенную

урожайность с устойчивостью к стеблевой ржавчине.

**Keywords:** plant breeding, immunity, resistance, pathogen, race, stem rust, collection accession, variety, yielding capacity.

This paper presents the results of breeding spring soft wheat for resistance to stem rust. The research targets were isogenic strains with known *Sr* genes of stem rust pathogen and new variety accessions developed at the Siberian Research Institute of Agriculture and the Institute of Cytology and Genetics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. The research goal was to obtain the breeding material of spring soft wheat resistant to stem rust taking in account the structure of Omsk Region's population of this pathogen. The years of 2015 and 2016 with this epiphytotoy enabled to test the studied material objectively regarding this pathogen. Phenological monitoring and evaluation of the resistance to stem rust were carried out in field conditions. It was found that the varieties Seri 82 and Cham-8 with *Sr31* gene were resistant to the Omsk population of stem rust in epiphytotoy years, and genotypes PBW343 and (Benno)/6\*LMPG with *Sr31* gene were susceptible. The line Pollmer 2.1.1. (Triticale) with *Sr27* gene was resistant at sprouting and adult plant stages. The analysis of stem rust pathotypes for major genes *Sr31*, *Sr 24* and *Sr36* enables to assume that there are races TTKSK(*Sr31*), TTKST(*Sr31+Sr24*), TTTSK (*Sr31+Sr36*), etc. in Omsk population. Correlation dependence of the resistance to stem rust and yield, protein content and thousand-kernel weight was found; and the high level of relation between dew exposure and stem rust affection was revealed. Promising breeding lines (Lutescence 79/04-11, Lutescence 82/09-7, Lutescence 42/07-2, Lutescence340/10-5, Lutescence 24/05-5, etc.) and dihaploids (DH 208-24, DH 317-18 and DH 317-21) combining high yielding capacity and resistance to stem rust have been identified.

**Росеева Людмила Петровна**, к.с.-х.н., вед. н.с., Сибирский НИИ сельского хозяйства, г. Омск. E-mail: rosseeva@mail.ru.

**Белан Игорь Александрович**, к.с.-х.н., с.н.с., зав. лаб. селекции яровой мягкой пшеницы, Сибирский НИИ сельского хозяйства, г. Омск. E-mail: belan\_skg@mail.ru.

**Мешкова Людмила Викторовна**, к.б.н., с.н.с., зав. лаб. иммунитета, Сибирский НИИ сельского хозяйства, г. Омск. E-mail: meshkova\_LV@mail.ru.

**Блохина Наталья Павловна**, н.с., лаб. селекции яровой мягкой пшеницы, Сибирский НИИ сельского хозяйства, г. Омск. E-mail: rosseeva@mail.ru.

**Ложникова Лидия Федоровна**, с.н.с., лаб. селекции яровой мягкой пшеницы, Сибирский НИИ сельского хозяйства, г. Омск. E-mail: rosseeva@mail.ru.

**Осадчая Татьяна Сергеевна**, м.н.с., лаб. хромосомной инженерии злаков Институт цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск. E-mail: pershina@bionet.nsc.ru.

**Трубачеева Наталья Викторовна**, к.б.н., н.с., лаб. хромосомной инженерии злаков, Институт цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск. E-mail: pershina@bionet.nsc.ru.

**Першина Лидия Александровна**, д.с.-х.н., зав. лаб. хромосомной инженерии злаков, Институт цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск. E-mail: pershina@bionet.nsc.ru.

**Rosseyeva Lyudmila Petrovna**, Cand. Agr. Sci., Leading Staff Scientist, Lab. of Spring Soft Wheat Selective Breeding, Siberian Research Institute of Agriculture, Omsk. E-mail: rosseeva@mail.ru.

**Belan Igor Aleksandrovich**, Cand. Agr. Sci., Senior Staff Scientist, Head, Lab. of Spring Soft Wheat Selective Breeding, Siberian Research Institute of Agriculture, Omsk. E-mail: belan\_skg@mail.ru.

**Meshkova Lyudmila Viktorovna**, Cand. Bio. Sci., Senior Staff Scientist, Head of Lab., Siberian Research Institute of Agriculture, Omsk. E-mail: meshkova\_LV@mail.ru.

**Blokhina Natalya Pavlovna**, Staff Scientist, Siberian Research Institute of Agriculture, Omsk. E-mail: rosseeva@mail.ru.

**Lozhnikova Lidiya Fyodorovna**, Staff Scientist, Siberian Research Institute of Agriculture, Omsk. E-mail: rosseeva@mail.ru.

**Osadchaya Tatyana Sergeevna**, Junior Researcher, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch, Rus. Acad. of Sci., Novosibirsk. E-mail: pershina@bionet.nsc.ru.

**Trubacheyeva Natalya Viktorovna**, Cand. Bio. Sci., Staff Scientist, Lab. of Cereal Chromosomal Engineering, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch, Rus. Acad. of Sci., Novosibirsk. E-mail: pershina@bionet.nsc.ru.

**Pershina Lidiya Aleksandrovna**, Dr. Agr. Sci., Head, Lab. of Cereal Chromosomal Engineering, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch, Rus. Acad. of Sci., Novosibirsk. E-mail: pershina@bionet.nsc.ru.

### Введение

Омская область расположена в южной части Западно-Сибирской равнины, крупнейшем регионе производства зерна яровой мягкой пшеницы и высокой насыщенностью ею в структуре севооборотов. Большинство сортов, включённых в ГР РФ и допущенных к использованию в этом регионе, восприимчивы к стеблевой ржавчине, что приводит к ухудшению фитосанитарной обстановки, а в годы эпифитотий – к потере урожая [1].

Создание и внедрение в производство устойчивых к грибным патогенам сортов – наиболее эффективный, экономически выгодный и экологически безопасный метод борьбы с возбудителями заболеваний. Селекция резистентных сортов играет огромную роль в коэволюции системы «хозяин-патоген». При создании нового сорта в генотип вводится новый ген устойчивости, но через некоторое время в популяции патогена появляются биотипы с новым геном вирулентности. Кроме того, широкое возделывание сортов, носителей однотипных генов устойчивости, ускоряет эволюцию патогенов. Пример тому появление в 1999 г. в Уганде расы Ug99 стеблевой ржавчины, поражающей сорта пшеницы, носители гена *Sr31* [2], а затем и ее биотипов, поражающих сорта с генами *Sr24* и *Sr36* [3] и

других новых рас, в том числе распространенных в Южной Африке, которые являются вариантами высоковирулентной расы Ug99 и поражающих не только пшеницу, но и тритикале [4]. Таким образом, процесс эволюции патогена является непрерывным [5]. Поэтому для селекции очень важны исследования по определению расового состава, динамике развития патогена, поиску новых генов устойчивости, всестороннему изучению растения-хозяина, выявлению влияния гидротермических условий как на развитие растений, так и патогенов.

Угроза распространения стеблевой ржавчины в Западной Сибири Российской Федерации велика, так как большие площади пшеницы заняты восприимчивыми сортами. Поэтому необходимы постоянный мониторинг расового состава, развития и распространения возбудителя стеблевой ржавчины, поиск эффективных источников устойчивости, создание и возделывание сортов, характеризующихся высокой резистентностью к этому патогену, что является актуальной проблемой, стоящей перед селекционерами.

**Цель** исследования – создание устойчивого к стеблевой ржавчине селекционного материала яровой мягкой пшеницы с учетом структуры омской популяции данного патогена.

**Задачи:** мониторинг структуры популяции стеблевой ржавчины; оценка устойчивости селекционных форм как в фазе проростков, так и в динамике на естественном и инфекционном фонах; выявление корреляционных зависимостей устойчивости с хозяйственно-ценными признаками и создание перспективных селекционных сортообразцов, сочетающих повышенную урожайность с устойчивостью к стеблевой ржавчине.

#### Условия исследований, объекты и методы

Заражение и развитие возбудителя стеблевой ржавчины на пшенице в сильной степени зависят от условий внешней среды. Особую роль играют факторы погоды – наличие капельно-жидкой влаги и температуры воздуха от +5°C до +22°C. Климат Омской области по количеству выпавших осадков и температуре во второй половине лета в большинстве лет являются благоприятными для развития патогена стеблевой ржавчины ([http://trasa.ru/region/omskaya\\_clim.html](http://trasa.ru/region/omskaya_clim.html)). В 2015 и 2016 гг. на полях области были зафиксированы эпифитотии этого заболевания, которые развивались в период колошение – восковая спелость, т.е. в августе месяце. В августе 2015 г. температура соответствовала многолетней (15,5°C), а осадков выпало 68,6 мм (129,4% к среднемноголетним показателям), такие погодные условия были благоприятны для развития заболевания. В 2016 г. август характеризовался как засушливый и неблагоприятный для проявления стеблевой ржавчины (температура была на 3,0°C выше нормы, а осадков выпало на 38,7 мм меньше нормы), однако эпифитотии стеблевой ржавчины способствовало время экспозиции росы на листовой поверхности растений, которое продолжалось более 10 часов в сутки.

Материал исследований – селекционные сортообразцы яровой мягкой пшеницы, включая ранее созданные дигамплоидные линии (ДГ) [6]; изогенные линии пшеницы с известными *Sr*-генами (линии получены из СИММИТ), а также омская популяция возбудителя стеблевой ржавчины (*Puccinia graminis Pers. f. sp. tritici Erikss. et Henn.*). Наблюдения и учёты по всем питомникам проводились в соответствии с «Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» [7]. Селекционные линии и сорта оценивались на устойчивость к стеблевой ржавчине как в фазе проростков [8], так и взрослого растения на естественном и инфекционном фонах, а также

на специализированном инфекционном фоне в условиях Кении (Kenya Agricultural Research Institute). Учёты в полевых условиях проводили в динамике (минимум 4 раза) с начала проявления заболевания. Реакцию растений на заражение стеблевой ржавчиной определяли по Stakman, Levine [9] и международной шкале [10]. Для сортообразцов, задерживающих развитие заболевания рассчитывали площадь под кривой развития заболеваний (ПКРБ) и индекс устойчивости (ИУ) [11]. Генотипический состав популяций патогена и его вирулентность изучали по реакции *Sr*-изогенных линий. Лабораторные исследования устойчивости растения-хозяина проводили в камере искусственного климата (Биотрон-4). ПЦР анализ с использованием молекулярных маркеров, сцепленных с соответствующими *Sr*-генами [12], выполнен для подтверждения их наличия у использованных изогенных линий. Результаты исследований статистически обработаны согласно Б.А. Доспехову [13] с использованием табличного процессора Microsoft Excel [14].

#### Результаты и их обсуждение

Оценка набора *Sr*-изогенных линий по устойчивости к стеблевой ржавчине в полевых условиях показала, что высокую резистентность в оба года исследований проявили линии, носители генов *Sr2*, *Sr13*, *Sr17*, *Sr22*, *Sr27*, *Sr30*, *Sr31*, *Sr33*, *Sr2+Sr23*, *SrX*. По данным Л.П. Сочаловой и И.Е. Лихенко [15], высокую устойчивость к новосибирской популяции проявляли линии с генами *Sr25*, *Sr26* и *Sr36*. Однако к омской популяции линии с этими генами были восприимчивы. В эпифитотийные годы сорта Seri 82 и Cham-8 с геном *Sr31* проявили устойчивость к омской популяции, а линии PBW343 и (Benno)/6\*LMPG, с этим же геном, задерживали развитие заболевания, но при последнем учёте в 2015 г. были поражены на 80 и 60%, а в 2016 г. – на 10 и 30% соответственно. Проведенный ПЦР анализ с использованием молекулярных маркеров подтвердил, что Seri 82 и Cham-8, PBW343 и (Benno)/6\*LMPG являются носителями гена *Sr-31*. Устойчивость в полевых условиях проявили Cham-10 (Kauz*Sr 31*, TIBL.1RS) и Vasanora=kauzs (*Sr31*), в лабораторных условиях тип поражения этих линий составил 2-3 балла (табл. 1).

Устойчивость к данному возбудителю как в фазе проростков, так и взрослого растения проявила линия Pollmer 2.1.1. (Triticale) с геном *Sr27*. С этим же геном линия Coroong задерживала развитие патогена, а

при последнем учете в 2015 г. была поражена на 25%, а в 2016 г. – на 70%. Полученные нами данные согласуются с наблюдениями других авторов [16] и указывают на то, что генотипы с одним и тем же геном устойчивости, но разного происхождения, могут показывать неодинаковую реакцию на заражение.

Результаты изучения вирулентности спорообразцов стеблевой ржавчины (2015 г.) показали, что омская популяция содержит патотипы, вирулентные к линии с геном *Sr31*. Анализ по ключевым генам *Sr31*, *Sr24* и *Sr36* позволяют предположить, что в омской популяции, вероятно, имеется наличие высоковирулентных рас *TTKSK (Sr31)*, *TTKST(Sr31+Sr24)*, *TTTSK (Sr31+Sr36)* и др. Однако отсутствие на сегодняшний день однородных дифференциальных наборов крайне усложняет определение расового состава популяций, а также и не позволяет проводить их сравнение.

Эпифитотийные по стеблевой ржавчине годы позволили объективно оценить селекционный материал на устойчивость к этому патогену. В таблице 2 представлены результаты изучения в питомниках СП-3 и КСИ новых сортообразцов и ДГ-линий, о которых сообщалось ранее [17, 18]. Нами

было установлено, что большинство линий, проявивших иммунитет в фазе проростков (тип 0), не поражаются ржавчинными заболеваниями и в фазе взрослого растения, а формы с типом устойчивости 1-2 балла, как правило, в фазе взрослого растения либо не поражаются патогеном, либо имеют высокую полевую устойчивость [19].

Подобная закономерность характерна и для большинства изученных селекционных линий в данной работе. Сортообразцы (Лютесценс 86/07-9, Лютесценс 42/07-2, Лютесценс 354/04-4 и др.) и дигампоиды (ДГ 317-21, ДГ 208-24 и др.) в фазе проростков при первом учете имели тип поражения 1-2, а при втором – 2-3 балла в полевых условиях задерживали развитие патогена. Максимальный уровень развития возбудителя стеблевой ржавчины проявляется в период от начала колошения до начала восковой спелости, т.е. в период, который является наиболее опасным для формирования урожайности и качества зерна. Результаты поражаемости патогеном в динамике показали, что новые сортообразцы задерживали развитие возбудителя стеблевой ржавчины, т.е. обладали горизонтальной (полевой) устойчивостью.

Таблица 1

*Характеристика устойчивости линий носителей Sr-генов к омской популяции стеблевой ржавчины (СибНИИСХ, 2015 и 2016 гг.)*

Линии	Sr-гены	2015 г.				2016 г.			
		5.08	10.08	18.08	27.08	13.08	16.08	20.08	25.08
Seri 82	<i>Sr 31</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
PBW343	<i>Sr 31</i>	0	0	20	80S	0	0	0	10R
Cham-8	<i>Sr 31</i>	0	0	0	5R	0	0	0	0
(Benno)/6*LMPG	<i>Sr 31</i>	0	0	10	60MS	0	5	25	30MR
Cham – 10	<i>Sr 31</i>	0	0	0	5R	0	0	0	0
Bacanora=kauzs	<i>Sr 31</i>	0	0	0	5R	0	0	0	5 R
LcSr24Ag Sr24	<i>Sr 24</i>	е.п.	10	50	100 S	0	5	40	70MSS
Sr24(Agent)/9*LMPG	<i>Sr24</i>	20	60	80	80 S	0	30	60	70MSS
Coroong	<i>Sr27</i>	0	5	10	25MR	0	0	10	70MSS
Pollmer	<i>Sr27</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
Eagle	<i>Sr26</i>	30	80	90	90 S	30	70	90	90 S
<i>Sr26/9*LMPG</i>	<i>Sr26</i>	5	10	20	80 S	0	5	25	50MS
Super Seri	<i>Sr25</i>	0	0	0	25MR	0	15	50	80 S
LcSr25Ar5	<i>Sr25</i>	5	25	50	90 S	20	40	70	90 S
Taf-2	<i>Sr44</i>	20	50	60	90 S	0	20	40	70MSS
<i>Sr36</i>	<i>Sr36</i>	10	25	70	70MSS	0	10	50	70MSS
W2691SrTt-1	<i>Sr 36</i>	40	80	100	100 S	20	50	70	80 S
Cook	<i>Sr36</i>	0	10	25	30MR	0	10	25	25MR
St464	<i>Sr13</i>	0	10	50	90 S	0	1	5	70MSS
Pavon 76	<i>Sr2</i>	0	0	0	15MR	0	0	0	10R
Buck Buck	<i>Sr2+Sr23</i>	0	0	0	25MR	0	1	1	15MR
RL6082	<i>Sr39</i>	20	50	80	100 S	5	40	50	80 S
RL6088	<i>Sr 40</i>	5	30	60	80 S	0	15	50	80 S

*Характеристика перспективных сортообразцов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к стеблевой ржавчине и хозяйственно-ценным признакам, 2015 и 2016 гг.*

Сортообразец	Показатели устойчивости, Омск				Кения, %	Признаки		
	проростки, балл <sup>1</sup>	поле, % <sup>2</sup>	ПКРБ <sup>3</sup>	ИУ <sup>4</sup>		белок, %	масса 1000 з., г	урожайность, т/га
St Омская 36	3/4	100S	807	1	40 MSS	14,05	27,9	2,32
Лют. 79/04-11	1/3	50MS	125	0,16	20 MS	16,36	33,2	3,37
Лют. 354/04-6	2/3	10MR	24	0,03	60 MSS	15,66	39,2	3,59
Лют. 86/07-9	1/2-3	5R	10	0,02	0	15,85	36,0	3,35
Лют. 82/09-7	1/2-3	10MR	20	0,03	5M	15,96	33,0	3,41
St Дуэт	3/4	100S	942	1	80 MSS	14,34	26,1	1,90
Лют. 3/04-21-11	1/3	10R	20	0,02	1MS	15,21	37,9	3,49
Лют. 42/07-2	1/2-3	10 R	20	0,02	5RMR	15,88	36,7	3,09
Лют. 194/10-3	1/3	10 MS	20	0,02	80 MSS	15,48	35,7	3,38
ДГ 317 -17	2/2	10R	10	0,02	40M	17,10	35,4	2,96
ДГ 317 -18	1/2-3	10R	10	0,02	40M	17,10	36,1	2,91
ДГ 317 -21	1/2	0	0	-	-	14,93	35,7	3,11
ДГ 317 -20	1/2	5R	5	0,02	40M	16,93	35,0	2,98
ДГ 208 -24	1/2	10R	10	0,02	10M	16,7	39,0	3,31
ДГ 293-126	1/2	10R	10	0,02	20M	15,73	34,3	2,91
St Серебристая	3/4	100S	772	0,87	40M	14,17	24,6	1,51
Лют. 3/04-33-5	1/2-3	25 MR	90	0,10	10M	14,85	34,0	3,12
Лют. 7/04-26	2/3-4	50MS	120	0,14	5M	14,75	38,7	2,73
Лют. 354/04-4	1/2-3	0	0	0	5MR	16,76	38,2	3,39
Лют. 24/05-5	2/2	5 R	14	0,02	0	16,50	35,2	2,66
НСРр<0.05								0,38

Примечание. <sup>1</sup>1-й учет проведен на 7-е сут. / 2-й – на 9-е сут. после нанесения инфекции. <sup>2</sup>Тип поражения – R-устойчив; MR – умеренная устойчивость; M – частичное перекрытие MR-MS; MS – умеренная восприимчивость; S – восприимчивый. <sup>3</sup>ПКРБ – площадь под кривой развития болезни. У устойчивых форм значения низкие, восприимчивых – высокие. <sup>4</sup>ИУ – индекс устойчивости. Уровень устойчивости: высокий – от 0,10 до 0,35; средний – от 36 до 0,65; низкий – от 0,66 до 0,80 и восприимчивость > 80.

Показателями полевой устойчивости являются: площадь под кривой развития болезни (ПКРБ) и уровень полевой (частичной) устойчивости (ИУ). Проведенные учеты и расчеты ПКРБ и ИУ показали, что независимо от года исследований и группы спелости новые сортообразцы характеризуются высоким уровнем устойчивости. Площадь под кривой развития заболевания у этих сортообразцов была в 3-50 раз ниже, чем у стандартов, а индекс устойчивости – <0,35 (ИУ – от 0,02 до 0,16), что подтверждает высокую их резистентность к патогену. Сравнение полевых оценок устойчивости изученных сортообразцов и дигамплоидов на инфекционном фоне в Омске и Кении выявили их отличия, что указывает на различия между популяциями патогенов по вирулентности.

Независимо от года изучения и группы спелости устойчивые сортообразцы в среднем превосходили стандарты по содержанию белка в зерне на 1,56%, по массе 1000 зерен – на 10 г и по урожайности – на 1,32 т/га. Сортообразцы Лютесценс 86/07-9, Лютесценс 42/07-2 и Лютесценс 354/04-4, ДГ 317-17, ДГ 317-18 и ДГ 208-24

характеризовались наиболее высокими показателями по содержанию белка, массе 1000 зерен и урожайности.

В селекции на устойчивость к возбудителям заболеваний важное значение имеет сопряженность между признаками. Расчет коэффициентов корреляции выявил высокую отрицательную связь между урожайностью и ПКРБ ( $r=-0,84$ ), а также высокую положительную связь урожайности с содержанием белка и массой 1000 зерен ( $r=0,62$  и  $0,74$  соответственно).

Развитие заболевания и вредоносность зависят от степени благоприятности погодных условий среды и времени их воздействия в определенной фенологической фазе растения. В 2016 г. температура и количество осадков в июне и июле месяце были благоприятны как для развития растений, так и листостебельных патогенов. В начале августа были проведены первые учеты поражения стеблевой ржавчиной, затем наблюдалось прогрессирование болезни и к середине августа зафиксирована эпифитотия этого заболевания. В августе температура воздуха была на 3,0°C выше нормы, а количество выпавших осадков на 38,7

меньше нормы, т.е. погодные условия были неблагоприятны для вспышки стеблевой ржавчины. Однако споры ржавчинных возбудителей могут прорасти при высокой влажности воздуха или при наличии капельно-жидкой влаги. При температуре от 15-20°C продолжительность периода увлажнения 3-4 ч, что вполне достаточно для прорастания спор возбудителей ржавчинных заболеваний. По данным метеостанции ОГМС Омск время экспозиции росы на листовой поверхности растений в августе 2016 г. колебалось от 5 до 15 ч в сутки, что было вполне достаточно для прорастания спор стеблевой ржавчины, заражения растений и развития патогена. Уровень корреляции между продолжительностью периода наличия росы на листьях и поражением растений стеблевой ржавчиной высокий и положительный ( $r=0,84$ ).

Результаты оценки на инфекционных фонах подтвердили, что новые сортообразцы задерживают развитие стеблевой ржавчины. Кроме того, сортообразцы Лютесценс 79/04-11, Лютесценс 82/09-7, Лютесценс 42/07-2, Лютесценс 340/10-5, Лютесценс 24/05-5 и ДГ 208-24 проявили высокую и умеренную устойчивость к твердой головне (% поражения <10), а сортообразцы Лютесценс 86/07-9 и Лютесценс 7/04-26 не поражались этим патогеном.

#### Заключение

В результате проведенных исследований выделены новые перспективные сортообразцы, проявляющие устойчивость к стеблевой ржавчине в фазе проростков и в фазе взрослого растения на естественном и инфекционном фонах в Омске, а также на инфекционном фоне в Кении. Установлено, что сорта Seri 82 и Cham-8 с геном *Sr31* в эпифитотийные годы проявляли устойчивость к омской популяции стеблевой ржавчины, а генотипы PBW343 и (Benpo)/6\*LMPG, также несущие ген *Sr31*, были восприимчивы. Устойчивость к возбудителю как в фазе проростков, так и взрослого растения проявила линия Pollmer 2.1.1. (Triticale) с геном *Sr27*. Анализ патотипов стеблевой ржавчины по ключевым генам *Sr31*, *Sr24* и *Sr36* позволяет предположить, что в омской популяции, вероятно, имеется наличие рас *TTKSK (Sr31)*, *TTKST (Sr31+Sr24)*, *TTTSK (Sr31+Sr36)* и др.

Установлены корреляционные зависимости между устойчивостью к стеблевой ржавчине с урожайностью, содержанием белка и массой 1000 зерен, а также выявлена высокая связь между продолжитель-

ностью периода наличия росы и поражением растений этим патогеном. Выделены перспективные селекционные линии (Лютесценс 79/04-11, Лютесценс 82/09-7, Лютесценс 42/07-2, Лютесценс 340/10-5 и Лютесценс 24/05-5 и др.) и дигампоиды (ДГ 208-24, ДГ 317-18 и ДГ 317-21), сочетающие повышенную урожайность с устойчивостью к стеблевой ржавчине.

#### Библиографический список

1. Чулкина В.А. Теоретические основы интегрированной защиты растений от инфекционных болезней // Интегрированная защита растений от болезней и вредителей в Сибири / ВАСХНИЛ. Сиб. отд. – Новосибирск, 1985. – С. 3-15.
2. Pretorius, Z.A., Singh, R.P., Wagoyre, W.W., Payne, T.S. Detection of virulence to wheat stem rust resistance gene *Sr31* in *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Uganda // Plant Disease. – 2000. – Vol. 84 (2). – P. 203.
3. Jin Y., Szabo L.J., Rouse M.N., Fetch T., Jr., Pretorius Z.A., Wanyera R., Njau P. Detection of virulence to resistance gene *Sr36* within the TTKS race lineage of *Puccinia graminis* f. sp. *Tritici* // Plant Disease. – 2009. – Vol. 93 (4). – P. 367-370.
4. Terefe T.G., Visser B., Pretorius Z.A. Variation in *Puccinia graminis* f. sp. *Tritici* detected on wheat and triticale in South Africa from 2009 to 2013 // Crop Protection. – 2016. – Vol. 86. – P. 9-16.
5. Ван дер Планк Я.Е. Устойчивость растений к болезням. – М.: Колос, 1972. – 254 с.
6. Осадчая Т.С., Трубачеева Н.В., Кравцова Л.А., Белан И.А., Россеева Л.П., Першина Л.А. Изучение фертильности и цитогенетической изменчивости у андрогенных растений ( $R_0$  и  $R_1$ ) аллоплазматических интрогрессивных линий мягкой пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2016. – Т. 20. – № 3. – С. 370-377.
7. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. – М., 1985. – 269 с.
8. Михайлова Л.А., Квитко К.В. Лабораторные методы культивирования возбудителя бурой ржавчины // Микология и фитопатология. – 1970. – Т. 4. – № 3. – С. 269-270.
9. Stakman E.C., Levine M.N. The determination of biologic forms of *Puccinia graminis* on *Triticum* spp. // Technical bulletin. University of Minnesota. Agricultural Experiment Station, 1923.

10. Методы селекции и оценки устойчивости пшеницы и ячменя к болезням в странах членов СЭВ. – Прага, 1988. – 321 с.

11. Коваленко Е.Д., Коломиец Т.М., Киселева М.И., Жемчужина А.И., Смирнова Л.А., Щербик А.А. Методы оценки и отбора исходного материала при создании сортов пшеницы устойчивых к бурой ржавчине: метод. рекомендации ВНИИФ. – М., 2012. – С. 93.

12. Bernardo A.N., Bowden R.L., Rouse M.N., Newcomb M.S., Marshall D.S., Bai G. Validation of molecular markers for new stem rust resistance genes in U.S. hard winter wheat // *Crop Science*. – 2013. – Vol. 53. – P. 755-764.

13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 415 с.

14. Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 386 с.

15. Сочалова Л.П., Лихенко И.Е. Генетическое разнообразие яровой пшеницы по устойчивости к мигрирующим заболеваниям. – Новосибирск: СибНИИРС, 2015. – 196 с.

16. Сколотнева Е.С., Салина Е.А., Коломиец Т.М., Ветрова М.А. Комплексная ревизия изогенных Sr-линий, дифференцирующих популяции стеблевой ржавчины // *Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам: IV Междунар. конф. (г. Санкт-Петербург, 11-13 октября 2016 г.)*. – СПб., 2016.

17. Белан И.А., Россеева Л.П., Мешкова Л.В., Блохина Н.П., Першина Л.А., Трубачеева Н.В. Создание устойчивых сортов для условий Западной Сибири и Урала // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 1. – С. 5-10.

18. Osadchaya T.S., Trubacheeva N.V., Kravtsova L.A., Belan I.A., Rosseeva L.P., Pershina L.A. Study of fertility and cytogenetic variability in androgenic plants (R0 and R1) of the alloplasmic introgression lines of common wheat // *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. – 2017. – Vol. 7 (3). – P. 318-326.

19. Россеева Л.П., Мешкова Л.В., Белан И.А. Устойчивость яровой мягкой пшеницы к возбудителю бурой ржавчины в Западной Сибири // *Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам: вторая Всерос. конф. (г. Санкт-Петербург, 29 сентября – 2 октября 2008 г.)*. – СПб, 2008. – С. 173-175.

## References

1. Chulkina V.A. Teoreticheskie osnovy integrirrovannoy zashchity rasteniy ot infektsionnykh bolezney // *Integrirrovannaya zashchita rasteniy ot bolezney i vreditel'ey v Sibiri / VASKhNIL. Sib. otd.* – Novosibirsk, 1985. – S. 3-15.

2. Pretorius, Z.A., Singh, R.P., Wagoyre, W.W., Payne, T.S. Detection of virulence to wheat stem rust resistance gene Sr31 in *Puccinia graminis* f. sp. tritici in Uganda // *Plant Disease*. – 2000. – Vol. 84 (2). – P. 203.

3. Jin Y., Szabo L.J., Rouse M.N., Fetch T., Jr., Pretorius Z.A., Wanyera R., Njau P. Detection of virulence to resistance gene Sr36 within the TTKS race lineage of *Puccinia graminis* f. sp. Tritici // *Plant Disease*. – 2009. – Vol. 93 (4). – P. 367-370.

4. Terefe T.G., Visser B., Pretorius Z.A. Variation in *Puccinia graminis* f. sp. Tritici detected on wheat and triticale in South Africa from 2009 to 2013 // *Crop Protection*. – 2016. – Vol. 86. – P. 9-16.

5. Van der Plank Ya.E. Ustoychivost rasteniy k boleznyam. М.: Kolos. – 1972. – 254 s.

6. Osadchaya T.S., Trubacheeva N.V., Kravtsova L.A., Belan I.A., Rosseeva L.P., Pershina L.A. Izuchenie fertlnosti i tsitogeneticheskoy izmenchivosti u androgennykh rasteniy (R0 i R1) alloplazmaticheskikh introgressivnykh liniy myagkoy pshenitsy // *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. – 2016. – T. 20. – № 3. – S. 370-377.

7. Metodika gosudarstvennogo sor-toispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kultur. Vyp.1-y. Obshchaya chast. – М., 1985. – 269 s.

8. Mikhaylova L.A., Kvitko K.V. Laboratornye metody kultivirovaniya vzbuditelya buroy rzhavchiny // *Mikologiya i fitopatologiya*. – 1970. – T. 4. – № 3. – S. 269-270.

9. Stakman E.C., Levine M.N. The determination of biologic forms of *Puccinia graminis* on *Triticum* spp. // *Technical bulletin. University of Minnesota. Agricultural Experiment Station*, 1923.

10. Metody selektsii i otsenki ustoychivosti pshenitsy i yachmenya k boleznyam v stranakh chlenov SEV. – Прага, 1988. – 321 с.

11. Kovalenko E.D., Kolomiets T.M., Kiseleva M.I., Zhemchuzhina A.I., Sмирнова Л.А., Shcherbik A.A. Metody otsenki i otbora iskhodnogo materiala pri sozdanii sortov pshenitsy ustoychivyykh k buroy rzhavchine / *Metodicheskie rekomendatsii VNIIF*. – М., 2012. – С. 93.

12. Bernardo A.N., Bowden R.L., Rouse M.N., Newcomb M.S., Marshall D.S., Bai G. Validation of molecular markers for new stem rust resistance genes in U.S. hard winter wheat // *Crop Science*. – 2013. – Vol. 53. – P. 755-764.

13. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta*. – M.: Kolos, 1979. – 415 s.

14. Makarova N.V., Trofimets V.Ya. *Statistika v Excel: ucheb. posobie*. – M.: Finansy i statistika, 2003. – 386 s.

15. Sochalova L.P., Likhenko I.E. *Geneticheskoe raznoobrazie yarovoy pshenitsy po ustoychivosti k migriruyushchim zabolevaniyam*. – Novosibirsk: SibNIIRS, 2015. – 196 s.

16. Skolotneva E. S., Salina E. A., Kolomits T. M., Vetrova M. A. *Kompleksnaya reviziya izogennykh Sr-linii, differentsiruyushchikh populyatsii steblevoy rzhavchiny // IV Mezhdunarodnaya konferentsiya «Sovremennye problemy immuniteta rasteniy k vrednym organizmam»*. – SPb., 2016.

17. Belan I.A., Rosseeva L.P., Meshkova L.V., Blokhina N.P., Pershina L.A., Trubacheeva N.V. *Sozdanie ustoychivyykh sor-*

*tov dlya usloviy Zapadnoy Sibiri i Urala // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2017. – № 1. – S. 5-10.

18. Osadchaya T.S., Trubacheeva N.V., Kravtsova L.A., Belan I.A., Rosseeva L.P., Pershina L.A. *Study of fertility and cytogenetic variability in androgenic plants (R0 and R1) of the alloplasmic introgression lines of common wheat // Russian Journal of Genetics: Applied Research*. – 2017. – Vol. 7 (3). – P. 318-326.

19. Rosseeva L.P., Meshkova L.V., Belan I.A. *Ustoychivost yarovoy myagkoy pshe-nitsy k vzbuditelyu buroy rzhavchiny v Zapadnoy Sibiri // Vtoraya Vserossiyskaya konferentsiya. (S-Peterburg, 29 sentyabrya – 2 oktyabrya 2008 g.) Sovremennye problemy immuniteta rasteniy k vrednym organizmam*. – SPb, 2008. – S.173-175.

*Отдельные разделы работы выполнены при поддержке Комплексной программы СО РАН II.2. (№ 0324-2016-0022) и РФФИ (проект 17-04-01738).*



УДК 631.893.99

**Н.Е. Павловская, Д.Б. Бородин, А.А. Хорошилов, И.В. Яковлева**  
**N.Ye. Pavlovskaya, D.B. Borodin, A.A. Khoroshilov, I.V. Yakovleva**

## ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ НАНОКРЕМНИЯ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

### EFFECT OF NANO-SILICON ON SPRING WHEAT PHYTOSYNTHETIC PRODUCTIVITY

**Ключевые слова:** нанокремний, минеральный кремний, яровая пшеница, фотосинтетическая продуктивность посевов, площадь листьев, фотосинтетический потенциал, листовая поверхность, урожайность пшеницы, препарат «Винцит», минеральные удобрения.

Представлены результаты деятельности Орловского регионального центра сельскохозяйственной биотехнологии при ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина» по исследованию препарата «Нанокремний» на фотосинтетический потенциал пшеницы сорта «Дарья». Цель исследований заключалась в изучении кремнесодержащего препарата на фотосинтетическую продуктивность растений на примере яровой пшеницы. Объектом исследований служил перспективный сорт пшеницы «Дарья». В полевых опытах проводились фенологические наблюдения и оценка влияния препарата «Нанокремний» на фотосинтетическую продуктивность. Методом Решецкого было произведено измерение площади листьев пшеницы, обработанной препаратом «Нанокремний». Установлено, что препарат способствует повышению листового индекса яровой пшеницы. Была расчи-

тана продуктивность посевов яровой пшеницы. Установлено, что препарат «Нанокремний» увеличивает кустистость в 2,5 раза, тем самым способствуя повышению урожайности и коэффициента хозяйственной эффективности. Прирост сухой биомассы на 1 растение в период трубкования показал, что при обработке препаратом «Нанокремний» прирост составил 1,5 г, что почти в два раза больше контроля. В наших исследованиях содержание золы в растениях, обработанных препаратом «Нанокремний» в процессе вегетации, увеличивалось на 15,4% по сравнению с контролем, что говорит о более интенсивном поглощении минеральных элементов корневой системой опытных растений. При предпосевной обработке и двукратном опрыскивании посевов во время вегетации препаратом «Нанокремний» увеличиваются высота растений, площадь листьев, число узлов кущения, фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность, повышается поглощение минеральных веществ корневой системой. Результаты исследований указывают на более длительную работу фотосинтетического аппарата пшеницы под влиянием препарата, обеспечивающего максимально высокий уровень поглощения солнечной энергии растительного покрова.