

«»

УДК:633.111.1

АДАПТИВНОСТЬ СОРТОВ И ЛИНИЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ К ИСКУССТВЕННО СОЗДАВАЕМЫМ ОСМОТИЧЕСКОМУ, СОЛЕВОМУ И КИСЛОТНОМУ СТРЕСС-ФАКТОРАМ НА РАННИХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА

Н.В. Давыдова*, Л.А. Марченкова, О.В. Павлова, Р.Ф. Чавдарь, Т.Г. Орлова, А.В. Широколава
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Сколково, Россия

*Эл. почта: davnat58@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 24.0.2022; принята к печати 02.12.2022

Представлены экспериментальные данные по оценке адаптивности сортов и линий яровой пшеницы в фазе проростков по реакции на обезвоживание, засоление, закисление и гипоксию растений. Работа проведена на фонах искусственно моделируемых стрессов, качестве которых использовали сахарозу, хлорид натрия (NaCl) и сульфат алюминия $[Al_2(SO_4)_3]$ и длительное затопление семян. Реакцию сортообразцов определяли по интенсивности ростовых процессов в сравнении с контролем (дистиллированная вода): на фонах обезвоживания сахарозой и гипоксии – по депрессии прорастаемости, засоления - по длине ростков, закисления – корешков. Определяли соотношение процента показателей опытных вариантов к контрольным. Выявлена различная норма депрессии указанных показателей в зависимости от применяемых факторов и способность противостоять вредоносному воздействию стресс-факторов. Выявлены сортовые различия по уровню реакции на изучаемые стрессовые факторы. По засухоустойчивости они варьировали в пределах -34-85 %, солеустойчивости – 17-58 %, по кислотоустойчивости -41-84 %, по устойчивости

к затоплению – 18-72 %. Наиболее сильное разрушающее действие на растения яровой пшеницы оказывают анаэробный и особенно солевой стрессы. На основе суммарного индекса устойчивости «И» выделено 46 % с широким диапазоном адаптивности к действию стрессоров. Особую селекционную ценность имеют сорта Злата, Лиза, Эстер, Агата, Радмира, которые обладают высокой продуктивностью, урожайностью, пластичностью, устойчивостью к неблагоприятным факторам среды, болезням и могут быть использованы в разных экологических зонах для создания форм яровой пшеницы с комплексом положительных характеристик.

Ключевые слова: яровая пшеница, сорт, линия, стрессовые факторы, обезвоживание, засоление, закисление, затопление, индекс устойчивости, адаптивность.

ADAPTABILITY OF SPRING WHEAT VARIETIES AND LINES TO THE ARTIFICIAL OSMOTIC, SALT AND ACID STRESS FACTORS DURING THE EARLY STAGES OF ONTOGENY

N.V. Davydova*, L.A. Marchenkova, O.V. Pavlova, R.F. Chavdar, T.G. Orlova, A.V. Shirokolava

Federal research center «Nemchinovka», Skolkovo, Russia

*E-mail: davnat58@yandex.ru

The article presents experimental data on the adaptability of spring wheat varieties and lines evaluated by their responses to dehydration, acidification and plant hypoxia during their seedlings phase. Artificially modeled stress backgrounds used were high sucrose, sodium chloride (NaCl) and aluminum sulfate $[Al_2(SO_4)_3]$, as well as prolonged seeds drowning. The responses of samples were assessed by their growing rates in comparison with control (distilled water) upon dehydration by sucrose and upon hypoxia, by sprouts length upon salination, and by roots length upon acidification. Percentages of experimental results vs. respective controls were calculated. Different levels of depression of the above indicators (depending on stress factors implemented), as well as different abilities to tolerate stress factors were found. Differences between varieties in their reactivity to stress factors were identified. Depending on variety, the indicators varied within 34-85 % for drought tolerance, 17-58 % for salinity tolerance, 41-84 % for acid tolerance, and 18-72 % for flooding tolerance. It was determined that anaerobic and salt stresses are the most harmful to the spring wheat plants. According to the combined tolerance index “I” 46% varieties with a broad adaptability spectrum to stressors were chosen. Especially valuable for selection are the varieties Zlata, Liza, Ester, Agata and Radmira due to the combination of economically important traits featured by them: high productivity, high yield, plasticity, and tolerance to adverse environmental factors and diseases. Those varieties may be used in environmentally different regions to create new spring wheat varieties with combinations of positive traits.

Keywords: spring wheat, variety, line, stress factors, dehydration, salinization, acidification, flooding, tolerance index, adaptability.

Введение

Устойчивость растений к основным биотическим и абиотическим стрессовым факторам – одно из основных требований, которые предъявляются к сортам сельскохозяйственных культур и технологиям их возделывания.

В условиях глобального изменения климата и негативного антропогенного воздействия на экосистемы наблюдается тенденция увеличения частоты экстремальных явлений, таких как избыточное выпадение осадков, приводящее к переувлажнению, засуха, засоление, закисление, вызывающие сбой нормального течения многих физиологических процессов.

Наиболее сильное разрушающее действие на зерновые культуры, оказывает водный стресс (недостаточное и избыточное увлажнение), проявляющийся в виде засухи и длительного затопления растений. Первое наиболее характерно для яровых культур и действует на ранних этапах онтогенеза в наиболее уязвимый период (май-июнь), когда растениям требуется высокая влагообеспеченность, и приводит к подавлению активности ростовых процессов, депрессии проростков и к ощутимым потерям сельскохозяйственной продукции [1]. Второе является причиной угнетения растений при обильном выпадении осадков в вегетационный период, вызывает нарушение воздушного режима в зоне корней, приводящее к ухудшению аэрации, задержке и аномалиям роста, а иногда и к гибели растений [2].

Серьезным препятствием на пути повышения урожайности зерновых культур является хлоридное и сульфатное засоление почвы, вызывающие депрессию роста надземных и подземных органов растений. Первое в результате высокого осмотического давления, вызванного избыточным содержанием легкорастворимых солей в почвенном растворе замедляет впитывание воды семенами перед их прорастанием, уменьшает набухание, резко задерживает рост всходов [3]. Второе оказывает сильное токсическое воздействие на растения, вызывая нарушение функции поглощения химических элементов корневой системой, подавляя рост корней, ухудшая их набухаемость и проницаемость, ингибируя рост вглубь [4]. Солевой стресс, хотя и нетипичен для Нечерноземной зоны, тесно связан с дефицитом воды, а, следовательно, и с засухоустойчивостью [5], чем и интересен для исследований.

Значительное варьирование абиотических факторов среды в условиях Нечерноземной зоны обуславливает постоянный поиск исходного материала с высокими адаптационными свойствами в сочетании с комплексом хозяйственно-ценных признаков, способных эффективно использовать биоклиматические ресурсы как в благоприятные, так и в неблагоприятные годы.

Результатами множества исследований по зерновым культурам подтверждена целесообразность применения лабораторных методов для оценки стрессоустойчивости ранних этапов развития растений, основанных на искусственном моделировании стрессов путем обработки семян различными токсикантами. Это особенно актуально в связи с тем, что в начальный период развития растения особенно чувствительны к неблагоприятным факторам среды [6].

Цель работы – изучение реакции сортов и линий яровой пшеницы на воздействие осмотического, солевого и кислотного стресс-факторов на ранних этапах онтогенеза и отбор высокоадаптивных форм для использования в селекции.

Материал и методы исследования

Исследования проведены в 2013-2021 гг. на семенах сортов яровой пшеницы ФИЦ «Немчиновка» раннего и нового периодов сортосмены - Злата, Эстер, Агата, Любава, Лиза, РИМА, ТИМА, Радмира, Юбилейная 60, Фаина и др.

Погодные условия за указанный вегетационный период имели ряд особенностей. 2019 год характеризовался дождями с понижением температуры в предуборочный и уборочный периоды, что сказалось на снижении всхожести. 2020 г. отличался обилием дождей ливневого характера и резким понижением температуры в период формирования семян, а развитие растений в 2021 г., наоборот, проходило в условиях дефицита осадков и повышенного температурного режима, что и явилось причиной понижения полновесности семян.

Изучение стрессоустойчивости сортов осуществляли в лабораторных условиях на пятидневных проростках в контрольных (дистиллированная вода) и стрессовых условиях на фонах обезвоживания семян сахарозой в концентрациях 16-20 атм. [7], засоления хлоридом натрия [8], закисления сульфатом алюминия [9] и длительного затопления в воде [2].

В качестве диагностического признака использовали интенсивность ростовых процессов проростков. Устойчивость к осмотическому и анаэробному стрессам определяли по депрессии прорастаемости семян, к солевому - по изменению длины ростков. При определении

стрессоустойчивости использовали соотношение процента показателей опытных вариантов к контрольным.

Для комплексной оценки (определения адаптивности) применяли группировку сортов по индексу устойчивости «И», который представляет собой сумму показателей устойчивости к каждому стрессовому фактору ($I_1 + I_2 + I_3$), приведенных к единице [10]. Образцы с индексом устойчивости, превышающим средний показатель, отнесены к числу высокоадаптивных форм. Проведено ранжирование линий по стрессоустойчивости на основе полученных показателей.

Результаты и обсуждение

При воздействии стресс-факторов, создаваемых в разные годы в лабораторных условиях - обезвоживания, засоления и закисления семян – выявлены различия по норме депрессии ростовых функций проростков в зависимости от применяемого фактора и генетических особенностей изучаемых форм.

В результате многолетнего изучения (2013-2021 гг.) в разных климатических условиях получена характеристика адаптивности сортообразцов яровой пшеницы, созданных в лаборатории селекции и первичного семеноводства яровой пшеницы ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка», таких как Злата, Лиза, Любава, Эстер, Агата, и др. Полученные результаты свидетельствуют о том, что большинство из них на ранних этапах онтогенеза способно противостоять стрессовым ситуациям в разных условиях среды. Среди погодных аномалий главной причиной снижения урожайности яровой пшеницы в Нечерноземной зоне, как известно, является засуха.

Анализ погодных условий в Центральном районе Нечерноземной зоны за период 1998-2021 гг. показал, что погодно-климатические условия в данном регионе в основном благоприятны для нормального роста и развития яровой пшеницы. Однако в отдельные годы наблюдаются большие варьирования по влагообеспеченности в разные периоды онтогенеза, что приводит к существенному снижению продуктивности и качества семян.

За время проведения исследований (1998-2021 гг.) самыми засушливыми были 1999, 2002, 2007 и 2010 гг. (рис. 1). При этом засуху 1999, 2002 и 2010 гг. на яровых культурах можно характеризовать как полную (от всходов до начала колошения), а 2007 г. – как раннюю (на стадии всходов).

Наиболее значительное переувлажнение на растениях яровой пшеницы отмечено в 1998, 2000, 2003, 2004, 2008 и 2017 гг., что вызвало существенное снижение всхожести семян и инфицированность болезнями.

Самое высокое токсическое воздействие на свойства и посевные качества семян зерновых культур оказывают виды рода *Fusarium*, инфицированность которых, как и всхожесть, во многом определяется температурой и количеством осадков в предуборочный и особенно в уборочный периоды. Наблюдения позволили определить диапазон различий по уровню посевных показателей и инфицированности болезнями в различных условиях среды (см. рис. 1).

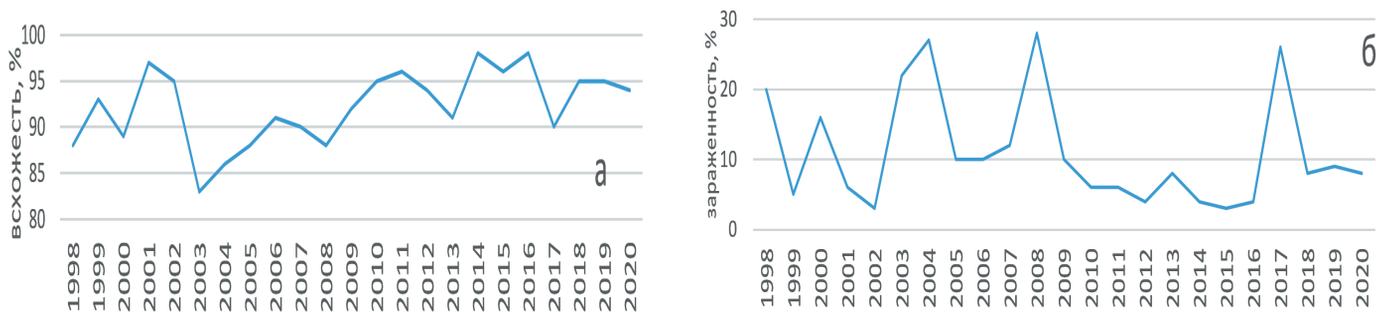


Рис. 1. Ретроспективный анализ всхожести (а) и зараженности семян сортов яровой пшеницы фузариозом (б), 1998-2020 гг.

В годы переувлажнения всхожесть яровой пшеницы варьировала от 83 до 100 %, зараженность фузариозами – от 16 до 30 %, в засушливые годы соответственно от 93 до 95 % и от 3 до 7 %. Изменчивость условий переувлажнения и дефицита влагообеспеченности в разные периоды онтогенеза способствовало не только ухудшению посевных качеств семян, но и существенному снижению урожайности и продуктивности.

Многолетняя оценка (2013-2019 гг.) наиболее востребованных в производстве сортов – Злата, Эстер, Агата, Любава, Лиза и др. – на фоне искусственного моделирования осмотического, солевого и кислотного стрессовых факторов позволила выявить уровень депрессии ростовых функций проростков и степень их устойчивости к стрессам.

Наиболее вредоносное воздействие на растения яровой пшеницы оказал солевой стресс, наименее – кислотный, со средними показателями устойчивости соответственно 46 и 71 % (на фоне осмотического стресс-фактора – 57 %) (рис. 2).



Рис. 2. Характеристика сортов яровой пшеницы по устойчивости к осмотическому, солевому и кислотному стресс-факторам (среднее за период 2013-2019 гг.).

В связи с увеличением количества осадков, наблюдающегося в последние годы в разные периоды онтогенеза яровой пшеницы, проведены следования по оценке устойчивости ее сортообразцов к гипоксии, приводящей к сильному угнетению ростовых процессов. В табл. 1 показана реакция сортов и линий на воздействие осмотического, солевого и анаэробного стрессов в 2019-2021 гг. Выявлены сортовые различия стресс-реакций растений и диапазон адаптивности к их токсическому воздействию.

Растения яровой пшеницы контрастно реагировали на используемые стрессы. Наибольшая степень изменчивости признака устойчивости по средним за три года данным отмечена на вариантах затопления семян и обезвоживания семян (размах вариации соответственно 18-72 % и 43-85 %), наименьшая – на фоне засоления (размах вариации – 17-77 %).

Отмечена разница по средним показателям устойчивости, которые на варианте осмотического стресса соответствовали 58 %, солевого – 40 % и анаэробного – 55 %. Самую высокую защитно-приспособительную способность (равную или превышающую средние данные) в условиях

Характеристика посевных качеств семян, урожайности и адаптивности сортов и линий яровой пшеницы, КСИ-2019-2021 гг.

Сорта и линии	Всхожесть, %	Масса 1000 семян, г	Урожайность т/га	Устойчивость к стресс-факторам, %			Индекс устойчивости
				обезвоживанию И ¹	засолению И ²	затоплению И ³	
Злата	93	38,3	4,10	85,3	45,7	72,5	2,04
Лиза	93	32,3	3,31	67,7	47,0	63,0	1,78
Эстер	95	33,3	4,20	58,3	47,3	57,5	1,63
Радмира	96	34,7	4,64	60,7	37,0	65,5	1,63
Фаина	91	33,3	3,61	55,7	45,3	62,0	1,62
Агата	95	33,9	3,63	58,3	38,0	65,0	1,61
ТИМА	95	30,6	3,66	55,7	37,7	57,5	1,51
Марфа	87	36,4	4,36	53,7	46,7	51,5	1,51
РИМА	95	35,8	3,84	64,0	35,0	48,0	1,47
Юбилейная 60	90	36,9	4,07	42,7	40,7	53,5	1,37
Беяна	97	34,9	4,06	50,3	16,7	63,5	1,31
Любава	91	38,7	3,59	65,0	41,3	18,5	1,25
Агрос	94	40,4	4,26	56,0	35,7	31,5	1,23
среднее	93,2	35,3	3,9	57,5	39,5	54,6	1,54
CV, %	3,0	7,8	9,5	18,7	20,8	27,3	14,8

осмотического и солевого стрессов проявили 54 %, солевого – 62 % сортообразцов. Различия по числу проросших семян между опытными и контрольными вариантами на устойчивых образцах в первых двух случаях составляли 9-30 %, на неустойчивых – 35–80 %. Аналогичная картина наблюдалась и по длине ростков. Наибольшее негативное токсическое влияние на растения яровой пшеницы оказывал солевой стресс, наименьшее – осмотический.

На основе суммарного индекса устойчивости «И», выделено 46 % сортов с высокой адаптивностью к стрессовым факторам (превышающей средний индекс -1,54), среди которых Злата, Лиза, Эстер, Агата и Радмира. Сорта Злата, Лиза и Эстер отличались высокоустойчивой реакцией к трем стрессам, Агата, Любава, Радмира, Фаина и ТИМА - к двум, остальные образцы - к одному из изучаемых факторов. Многие сорта показали сходную реакцию на воздействие стресс-факторов.

Участие вышеуказанных, а также других стрессоустойчивых сортов ранних периодов сортосмены - Приокская, Лада, МИС, Амир и др. – в селекционном процессе позволяет создать большое число перспективных линий и новых сортов, характеризующихся значимой способностью противостоять биотическим факторам среды как на стадии проростков, так и в полевых экстремальных условиях среды.

Переданные в Государственное сортоиспытание сорта Фаина, Агрос и Марфа способны формировать высокий уровень урожайности и продуктивности, обладают высоким адаптивным потенциалом по основным хозяйственно-ценным признакам, отличаются толерантностью к наиболее вредоносным листовым болезням (табл. 2).

Сорт Фаина отличается высокой приспособительной реакцией к засолению и затоплению, Марфа – к засолению Агрос – к обезвоживанию.

Анализ посевных качеств изучаемых сортообразцов за период 2019-2021 гг. показал, что полученные данные существенно различались по годам. Средняя всхожесть колебалась в пределах 87-97 % (см. табл. 1). В 2019 г. она составила 89 %, в 2020 г. 95 %, в 2021 г. – 96 % с количеством некондиционных семян соответственно 68, 12 и 12 %. 2019 г. отличался наиболее высокой массой 1000 семян и урожайностью, 2020 г. - снижением первого показателя по сравнению со средней на 12, 8 %, в 2021 – на 5,2 %, второго - соответственно на 9,1 и 8,8 %.

Табл. 2.

Характеристика новых сортов яровой мягкой пшеницы.

Сорта	Урожайность т/га (2019-2021)	+ к средней, т/га	Дата колошения	Содержание клейковины, %	Масса 1000 семян, г	Сила муки, е.а.	Объемный выход хлеба, мл	Поражение болезнями, %	
								бурая ржавчина	септориоз
Злата (ст.)	4,60	-	23.06	33,6	40,9	297	975	15	25
Агрос	4,98	+0,38	24.06	32,5	43,5	306	955	0-5	10
Марфа	5,07	+0,47	29.06	40,8	41,9	232	900	0-5	15
Фаина	4,97	+0,37	26.06	33,4	39,8	3000	980	5	10
НСР ₀₅	0,24								

Что касается урожайности изучаемых образцов, то ее самые высокие показатели отмечены в 2019 г., самые низкие в 2020 г. В первом случае она была на уровне 3,37-5,52, во втором – 2,61-4,53, в 2021 г. – 2,80-4,62 т/га при средних показателях 4,60, 3-40, 3,70 т/га. соответственно. Такие результаты можно объяснить в основном погодными условиями в период вегетации или почвенными условиями опытных участков. По результатам трехлетнего испытания самую высокую урожайность (от 4 и выше т/га) формировали Злата, Эстер, Радмира и новые сорта Агрос, Марфа, Беяна, Юбилейная 60 и ТИМА. Они представляют особый интерес для дальнейшего использования в селекционном процессе, так как помимо высокой урожайности и стрессоустойчивости отличаются и другими хозяйственно-ценными свойствами, такими как озерненность, скороспелость, устойчивость к болезням и др.

Заключение

Выполнена оценка адаптивных свойств сортов и линий яровой пшеницы по реакции растений на обезвоживание, засоление, затопление и гипоксию в условиях искусственно создаваемых стрессов путем воздействия сахарозой, хлоридом натрия, сульфатом алюминия и затоплением семян. Установлено, что эти стресс-факторы, приводят к существенному ухудшению ростовых функций. Выявлены различия по депрессии проростков в зависимости от применяемого фактора и генетических особенностей изучаемых форм. Установлено, что самыми сильными для растений яровой пшеницы является анаэробный и особенно солевой стрессы. Показана специфическая реакция изучаемых генотипов по устойчивости к засухе, переувлажнению, засолению и закислению и выявлены формы с широким диапазоном адаптивности. Выделены сорта - Злата, Лиза, Эстер, Агата, Радмира и др., - представляющие интерес для селекции как источники высокой адаптивности к абиотическим стресс-факторам и комплекса хозяйственно-ценных признаков.

Литература

1. Крупнов ВА. Засуха и селекция пшеницы: системный подход. Сельскохозяйственная биология. 2011;(1):12-23.
2. Белецкая ЕК., Остаплюк ЕД. Оценка устойчивости озимых культур к вымоканию и ледяной корке. В кн.: Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям. Методическое руководство. Л.: 1988. С. 182-6.
3. Удовенко ГВ. Солеустойчивость культурных растений. Научные труды ВАСХНИЛ. Ленинград: Колос; 1977.
4. Ярусов СС, Соколов МФ. Обменная кислотность в почвах и ее токсичность. В кн.: Сборник памяти Д.Н. Прянишникова. М.; 1950. С. 37-50.
5. Zhu J.-K. Salt and drought stress signal transduction in plants. Annu Rev Plant Biol. 2002;53:247-73.
6. Удовенко ГВ. Устойчивость растений к абиотическим стрессам. Физиологические основы селекции растений. 1995;2(2):293-352.
7. Кожушко НН. Оценка засухоустойчивости полевых культур. В кн.: Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям. Методическое руководство. Л., 1988. С.10-24.
8. Семушкина ГВ, Хазова ГВ, Удовенко ГВ. Применение анализа изменения ростовых процессов для диагностики солеустойчивости растений. В кн.: Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды. Л.: Колос; 1976. С. 85.
9. Лисицын ЕМ. Методика лабораторной оценки алюмоустойчивости зерновых культур. Доклады РАСХН. 2003;(3):5-7.
10. Белецкая ЕК, Остаплюк ЕД. Оценка устойчивости озимых культур к вымоканию и ледяной корке. В кн.: Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям. Методическое руководство. Л.: 1988. С. 182-6.
11. Марченкова ЛА, Давыдова НВ, Чавдарь РФ, Орлова ТГ, Казаченко АО, Грачева АВ, Широколава АВ. Оценка адаптивности сортов и линий яровой пшеницы на фоне искусственно моделируемых стрессов. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017; (5):9-15.

References

1. Krupnov VA. [Drought vs wheat selection: a systemic approach]. Selskokhoziaystvennaya Biologiya. 2011;(1):12-23. (In Russ.)
2. Beletskaya EK, Ostapliuk ED. [Evaluation of winter cultures tolerance to soaking and ice crust]. In: Diagnostika Ustoychivosti Rasteniy k Stressovym Vozdeystviyam. Metodicheskoye Rukovodstvo [Diagnostics of Plant Tolerance to Stressful Influences. Methodological Guide]. Leningrad; 1988; P. 182-6. (In Russ.)
3. Udoenko GV. Soleustoychivost Kulturnykh Rasteniy. Nauchnye Trudy VASKhNIL [Salt Tolerance of Crops]. Leningrad: Kolos; 1977. (In Russ.)
4. Yarusov SS, Sokolov MF. [Exchangeable Acidity in Soils and Its Toxicity]. In: Sbornik Pamiaty D.N. Pryanishnikova. – Moscow; 1950. P. 37-50. (In Russ.)
5. Zhu J.-K. Salt and drought stress signal transduction in plants. Annu Rev Plant Biol. 2002;53:247-73.
6. Udoenko G.V. [Plant resistance to abiotic stresses]. Fiziologicheskiye Osnovy Seleksii Rasteniy. 1995;(2): 293-352. (In Russ.)
7. Kozhushko NN. [Evaluation of drought resistance of field crops]. In: Diagnostika Ustoychivosti Rasteniy k Stressovym Vozdeystviyam. Metodicheskoye Rukovodstvo [Diagnostics of Plant Tolerance to Stressful Influences. Methodological Guide]. Leningrad; 1988. P. 10-24. (In Russ.)
8. Semushkina GV, Khazova GV, Udoenko GV. [Implementation of growth process variation analysis for plant salt tolerance diagnostics]. In: Metody Otsenki Ustoychivosti Rasteniy k Neblagopriyatnym Faktorom Sredy [Methods of Evaluation of Plant Tolerance to Unfavorable Environmental Factors]. Leningad: Kolos; 1976. P. 85. (In Russ.)
9. Lysitsyn EM. [Methodology for laboratory assessment of aluminum resistance of grain crops]. Doklady RASKhN. 2003;(3): 5-7. (In Russ.)
10. Marchenkova LA, Davydova NV, Chavdar RF, Orlova TG, Kazachenko AO, Gracheva AV, Shirokolava AV. [Evaluation of the adaptability of varieties and lines of spring wheat against the background of artificially simulated stresses]. Vestnik Altayskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Univessiteta. 2017; (5):9-15. (In Russ.)

⟷