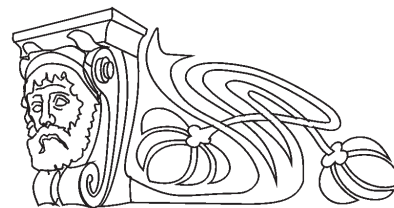




Научная статья

УДК 581.1+633.111.1+631.524.85

Влияние осмотического стресса на рост и развитие проростков интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы



А. А. Зубехина¹, В. В. Коробко¹✉, Ю. В. Даштоян², А. В. Калинина²

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

²Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Россия, 4100107, г. Саратов, ул. Тулайкова, д. 7

Зубехина Аделина Александровна, студент кафедры микробиологии и физиологии растений, zubehinaadelina@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6307-8099>

Коробко Валерия Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии и физиологии растений, v.v.korobko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0444-8238>

Даштоян Юлия Васильевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории генетики и цитологии, dashto@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4481-2417>

Калинина Алла Владимировна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории генетики и цитологии, kalinaal@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6608-708X>

Аннотация. Изучение устойчивости растений, полученных в результате интрогрессивной селекции, к действию различных факторов, в том числе к осмотическому стрессу, является важным этапом селекционной работы. Объектами исследования являются два сорта яровой мягкой пшеницы – Саратовская 70 и Саратовская 68 и три линии – L3 (C68/ThatcherLr28*4//C68), L4 (C68/ThatcherLr29*4//C68), L12 (C70/ThatcherLr29*4//C70). В качестве субстрата культивирования использован ПЭГ. Влияние осмотического стресса на рост оценивали по морфометрическим параметрам, показателю корнеобеспеченности проростка и корневого индекса проростка. Для оценки восприимчивости объектов исследования к осмотическому стрессу определены индексы восприимчивости (SSI). Сравнительный анализ морфометрических параметров роста и развития семидневных проростков показал, что при воздействии осмотического стресса по длине первого листа статистически значимых отличий у проростков изученных линий и сортов не выявлено. При действии осмотического стресса наблюдается увеличение показателя корнеобеспеченности у всех изученных линий и сортов. На основании полученных значений индексов восприимчивости к стрессу SSI установлено, что наиболее восприимчивыми к осмотическому стрессу являются проростки интрогрессивных линий L3: значение индекса SSI выше порогового по всем трем морфометрическим показателям, а именно длине побега (SSI(L)), максимальной длине корня в корневой системе проростка (SSI(Rmax)), общей длине корневой системы (SSI(Rs)). Сравнительный анализ полученных данных проростков линий L12 и L4, у которых присутствует один и тот же ген устойчивости к ржавчине – Lr29, но в качестве реципиента гена выступили разные сорта, позволяет предположить, что более восприимчивыми являются проростки линии L12, для которых реципиентом гена устойчивости является сорт Саратовская 70.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., интрогрессивные линии, осмотический стресс, устойчивость проростков

Для цитирования: Зубехина А. А., Коробко В. В., Даштоян Ю. В., Калинина А. В. Влияние осмотического стресса на рост и развитие проростков интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 169–177. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-169-177>, EDN: FUTZLX

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

The effect of osmotic stress on the growth and development of seedlings of introgressive lines of spring soft wheat

А. А. Зубехина¹, В. В. Коробко¹✉, Ю. В. Даштоян², А. В. Калинина²

¹Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

²Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikov St., Saratov 410010, Russia

Adelina A. Zubekhina, zubehinaadelina@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6307-8099>

Valeria V. Korobko, v.v.korobko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0444-8238>

Iuliia V. Dashtoyan, dashto@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4481-2417>

Alla V. Kalinina, kalinaal@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6608-708X>



Abstract. The study of the resistance of plants obtained as a result of introgressive breeding to various factors, including osmotic stress, is an important stage of breeding work. The objects of research are two varieties of spring soft wheat – Saratovskaya 70 and Saratovskaya 68 and three lines – L3 (C68/ThatcherLr28*4//C68), L4 (C68/ThatcherLr29*4//C68), L12 (C70/ThatcherLr29*4//C70). PEG was used as a cultivation substrate. The effect of osmotic stress on growth was assessed by morphometric parameters, the seedling root availability index, and the seedling root index. To assess the susceptibility of the study objects to osmotic stress, the susceptibility indices (SSI) were determined. A comparative analysis of the morphometric parameters of growth and development of seven-day-old seedlings showed that when exposed to osmotic stress, there were no statistically significant differences in the length of the first leaf in the seedlings of the studied lines and varieties. Under the influence of osmotic stress, an increase in the root resistance index is observed in all the studied lines and varieties. Based on the obtained values of the SSI stress susceptibility indices, it was found that seedlings of introgressive L3 lines are the most susceptible to osmotic stress: the value of the SSI index is higher than the threshold for all three morphometric indicators, namely, shoot length (SSI(L)), maximum root length in the root system of the seedling (SSI(Rmax)), the total length of the root system (SSI(Rs)). A comparative analysis of the data obtained from seedlings of the L12 and L4 lines, which have the same rust resistance gene, Lr29, but different varieties acted as recipients of the gene, suggests that seedlings of the L12 line, for which the recipient of the resistance gene is the Saratov 70 variety, are more susceptible.

Keywords: *Triticum aestivum* L., introgressive lines, osmotic stress, resistance of seedlings

For citation: Zubekhina A. A., Korobko V. V., Dashtoyan Yu. V., Kalinina A. V. The effect of osmotic stress on the growth and development of seedlings of introgressive lines of spring soft wheat. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 169–177 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-169-177>, EDN: FUTZLX

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Осмотический стресс является значимым лимитирующим фактором продуктивности мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Дефицит воды негативно влияет на физиологическое состояние растений и на ряд показателей, определяющих продуктивность [1, 2]. Повышение устойчивости к засухе – одна из ключевых задач современной селекции, так как зерновые культуры активно используются в качестве источника питания и играют ключевую роль в экономике страны [3].

Существуют различные способы повышения устойчивости сельскохозяйственных культур к лимитирующим факторам окружающей среды. Одним из них является интрогрессивная гибридизация – метод, основанный на внесении в геном растения-реципиента генов от донора [4], что позволяет вывести новые линии мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) [5]. Эти растения служат не только донорами ценных генов, но и объектами для изучения физиологических и генетических механизмов адаптации [6–8].

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния осмотического стресса, смоделированного *in vitro*, на рост и развитие проростков трех интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы и двух сортов мягкой яровой пшеницы, которые являются реципиентами генов устойчивости к ржавчине. Задачи исследования – оценить влияние осмотического стресса на морфометрические показатели роста и развития проростков объектов исследования, а также оценить восприимчивость тестируемых линий к осмотическому стрессу.

Материал и методы

Исследование проведено в лабораторных условиях на кафедре микробиологии и физиологии растений Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского в 2024–2025 г. Объект исследования – семидневные проростки яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сортов Саратовская 70, Саратовская 68 и трех интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы (L3, L4, L12): линия L3 (C68/ThatcherLr28*4//C68), линия L4 (C68/ThatcherLr29*4//C68), линия L12 (C70/ThatcherLr29*4//C70). Материал для исследования был предоставлен сотрудниками лаборатории генетики и цитологии Федерального аграрного научного центра Юго-Востока.

В эксперименте были использованы неповрежденные, выровненные по размеру семена одного года репродукции от растений, выращенных в пределах одного опытного участка. Зерновки проращивали в чашках Петри в растворе ПЭГ [9], концентрация которого соответствовала осмотическому давлению 0,5 МПа [10]. В качестве контроля служили семена, пророщенные на дистиллированной воде. Опыт проводили в трехкратной повторности ($n = 10$). Культивирование осуществляли в климатокамере при температуре $19 \pm 2^\circ\text{C}$; фотопериод 16/8 ч света/темноты.

Количественный учет проводили на семидневных проростках. Были определены такие морфометрические показатели, как длина первого листа, длина корней. Для комплексной оценки влияния неблагоприятных условий



на физиологическое состояние растений используются индексы, которые основаны на сравнении различных показателей роста и развития растений в благоприятных и стрессовых условиях [11–14]. Для оценки результатов эксперимента нами были использованы корневой индекс проростка, показатель корнеобеспеченности проростка и индекс восприимчивости к стрессу (SSI).

Корневой индекс был рассчитан по формуле: $RI = R_{\max}$ опытных растений, мм / R_{\max} контрольных растений, мм, где R_{\max} – это наибольшая длина корня в корневой системе семидневного проростка [11].

Для вычисления корнеобеспеченности проростков были определены значения абсолютно сухой массы корней и побега исследуемых растений. Абсолютно сухая масса определена путем высушивания объектов в термостате при температуре 105°C до постоянного веса. Показатель корнеобеспеченности проростка (the root-to-shoot ratio, обозначенный нами $R_{r/s}$) был рассчитан, как соотношение абсолютной сухой массы корня к абсолютно сухой массе побега [15, 16].

Индекс восприимчивости к стрессу (SSI) рассчитан по формуле:

$$SSI = [1 - (Y_s / Y_p)] / [1 - (Y`s / Y`p)],$$

где Y_s – значение морфометрического показателя сорта в условиях стресса, Y_p – значение морфометрического показателя в контроле, $Y`s$ и $Y`p$ – средние значения всех показателей объектов соответственно в условиях стресса и без него [13, 17–20]. Основываясь на полученных морфометрических данных, был рассчитан SSI по следующим параметрам – длине побега (SSI(L)), максимальной длине корня в корневой системе проростка ($R_{\max}(L)$), общей длине корневой системы ($R_s(L)$).

Статистическая обработка данных проведена в табличном процессоре Excel пакета MS Office 2010 с использованием надстройки Agreestat360.

Результаты и их обсуждение

В соответствии с одной из поставленных задач проведен морфометрический анализ проростков, культивированных в условиях осмотического стресса; данные выражены в % от значений в контрольных вариантах опыта (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Влияние осмотического стресса на морфометрические показатели проростков *T. aestivum* L.
The influence of osmotic stress on morphometric indicators of *T. aestivum* L.

Сорт, линия / Grade, line	L, %	SSI(L)	R_s , %	SSI(R_s)	R_{\max} , %	SSI(R_{\max})
Саратовская 68 / Saratovskaya 68	46	0,99	41	1,00	49	0,94
L3	44	1,03	36	1,09	44	1,03
L4	48	0,95	46	0,91	48	0,95
Саратовская 70 / Saratovskaya 70	43	1,05	41	0,99	46	0,99
L12	46	0,99	40	1,01	39	1,12
HCP _{0,05} /LSD _{0,05}	4		7		7	

Примечание. L – длина первого листа, R_s – общая длина корневой системы; R_{\max} – длина самого длинного корня корневой системы каждого проростка.

Note. L – length of the first sheet, R_s – total length of the root system; R_{\max} – length of the longest root of the root system of each seedling.

Выявлены отличия между морфометрическими показателями проростков трех интрогрессивных линий и двух сортов яровой мягкой пшеницы. Длина первого листа проростков, культивированных в условиях осмотического стресса, варьирует от 43 до

48% от контрольных значений. Максимальным значением анализируемого параметра характеризуются проростки линии L4, а минимальным – проростки сорта Саратовская 70; при этом различия анализируемых показателей, выраженных в % от контрольных зна-



чений, у объектов исследования не являются статистически значимыми. Длина корневой системы проростков варьирует от 36 до 46 % от контроля; при этом минимальное значение данного показателя роста и развития обнаружено у проростков линии L3, а максимальное – у проростков линии L4.

Одним из оцениваемых параметров, используемых для определения корневого индекса, являлась максимальная длина корня в корневой системе каждого проростка: мини-

мальное значение данного показателя отмечено у семидневных проростков линии L12, максимальное значение выявлено у проростков сорта Саратовская 68 и линии L4. Значение корневого индекса (RI) у анализируемых сортов и линий варьирует от 0,4 до 0,5 отн. ед. У проростков линии L4, сорта Саратовской 70 и сорта Саратовской 68 корневой индекс имеет одинаковое значение и равен 0,5. Меньшим значением RI – 0,4 отн.ед. – характеризуются проростки линии L3 и L12 (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Влияние осмотического стресса на показатель корневого индекса проростков *T. aestivum* L.
The influence of osmotic on the root index of *T. aestivum* L.

Сорт, линия / Grade, line	RI, отн. ед. / Relative units
Саратовская 68 / Saratovskaya 68	0,5
L3	0,4
L4	0,5
Саратовская 70 / Saratovskaya 70	0,5
L12	0,4

Для вычисления показателя корнеобеспеченности, использование которого является физиологически обоснованным и высокоэффективным методом косвенного отбора засухоустойчивых сортов на ранних этапах

селекции, была определена абсолютная сухая масса побега и корневой системы и рассчитано относительное массовое соотношение подземной и надземной части проростка (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Показатель корнеобеспеченности интрогрессивных линий при осмотическом стрессе проростков *T. aestivum* L.
Root availability of introgressive lines under osmotic stress of *T. aestivum* L.

Сорт, линия / Grade, line	M_s , мг/mg	M_{rs} , мг/mg	$R_{r/s}$, усл. ед. / relative units	$R_{r/s}$, % от контроля / % of the control
Саратовская 68 / Saratovskaya 68	12,3	21,6	1,8	181
L3	8,1	11,7	1,4	140
L4	8,6	11,9	1,4	144
Саратовская 70 / Saratovskaya 70	16,0	22,1	1,4	163
L12	17,5	21,5	1,3	146
HCP _{0,05} /LSD _{0,05}	5	7	0,5	50

Примечание. M_s – масса побега; M_{rs} – масса корней; $R_{r/s}$ – показатель корнеобеспеченности.
Note. M_s – mass of the shoot; M_{rs} – mass of the roots; $R_{r/s}$ – indicator of root security.

В контрольном варианте эксперимента масса побега и корневой системы одинаковы

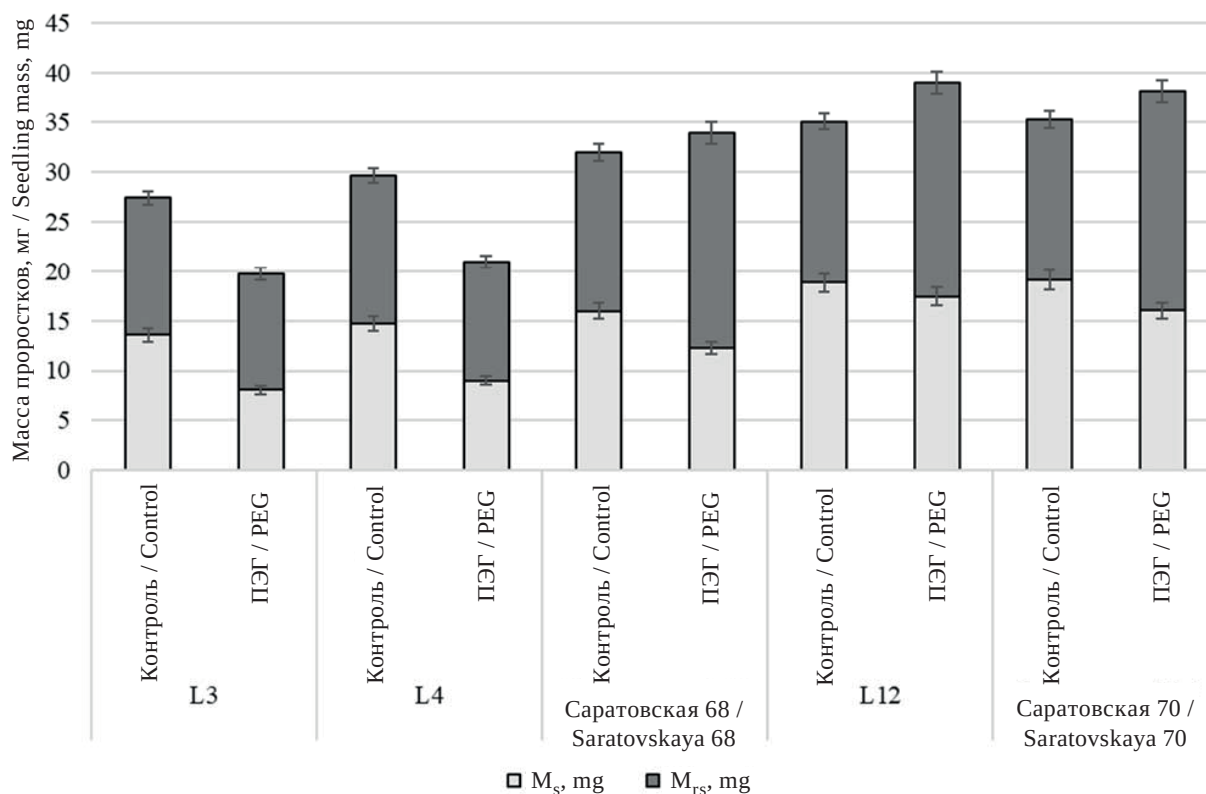
у проростков линий L3, линии L4 и сорта Саратовская 68, тогда как сухая масса побега



семидневных проростков линии L12 и сорта Саратовская 70 незначительно превышает массу корневой системы.

В условиях осмотического стресса наблюдается снижение массы побега у проростков всех объектов исследования, при этом у про-

ростков сортов Саратовская 68, Саратовская 70 и линии L12 масса корневой системы относительно контроля увеличивается, что приводит к существенному повышению показателя корнеобеспеченности проростков (рисунок).



Масса проростков изученных сортов и интрогрессивных линий *Triticum aestivum* L.
Figure. Seedling weight of the studied varieties and introgressed lines *Triticum aestivum* L.

У проростков линий L4 и L3, полученных с использованием одного и того же сорта-реципиента Саратовская 68, но имеющих транслокацию разных генов устойчивости к ржавчине (для L4 это ген Lr29, а для линии L3 – Lr28), наблюдается снижение массы корневой системы относительно контрольных значений, но, так как при этом масса побега значительно ниже контрольных значений, то относительное массовое соотношение превышает на 40–44% контрольные показатели.

Таким образом, установлено увеличение показателя корнеобеспеченности проростков, культивируемых в условиях осмотического стресса по сравнению с контрольным вариантом опыта. При этом минимальным значением показателя корнеобеспеченности характеризуются проростки интрогрессивной линии L12 (1,3 отн.ед., что на 0,19 отн.ед. превышает кон-

троль), наибольшим – проростки сорта Саратовская 68 (1,8 отн.ед., что на 0,8 отн.ед. выше контрольного значения).

Был рассчитан индекс восприимчивости к стрессу SSI по всем трем морфометрическим показателям проростка – длине первого листа, максимальной длине корня, общей длине корневой системы. Согласно используемой методике восприимчивыми к стрессу считаются объекты, значение SSI которых превышает 1,00 [20].

На основании полученных данных установлено, что у проростков L4 и сорта Саратовская 68 значение индекса SSI по всем изученным морфометрическим параметрам меньше порогового значения, что характеризует их, как невосприимчивые к осмотическому стрессу. Значение индекса SSI выше порогового значения по всем трем морфометрическим показателям у проростков линии L3, что характеризует эту



линию как наименее устойчивую к засухе среди объектов исследования. Восприимчивой к осмотическому стрессу можно считать корневую систему проростков линии L12, тогда как надземная часть к данному неблагоприятному фактору имеет меньшую восприимчивость. Проростки сорта Саратовская 70 показали восприимчивость к осмотическому стрессу надземной части проростка, тогда как корневая система является устойчивой.

Заключение

Проведен морфометрический анализ проростков интрогрессивных линий и сортов *Triticum aestivum* L. по следующим показателям: длине побега (L), максимальной длине корня в корневой системе проростка ($R_{max}(L)$), общей длине корневой системы ($R_s(L)$).

В условиях осмотического стресса наблюдается ингибирование роста первого листа и корневой системы у всех объектов исследования. При этом по длине первого листа статистически значимых отличий у проростков изученных линий и сортов не выявлено, тогда как по длине корневой системы, выраженной в % от контрольных значений, наблюдаются статистически достоверные различия между проростками линии L3 и линии L4.

При действии осмотического стресса на проростки объектов исследования наблюдается увеличение показателя корнеобеспеченности по сравнению с контрольным вариантом опыта у всех изученных линий и сортов; при этом минимальным значением показателя корнеобеспеченности характеризуются проростки интрогрессивной линии L12 (1,3 отн. ед., что на 0,19 отн. ед. превышает контроль), наибольшим – проростки сорта Саратовская 68 (1,8 отн. ед., что на 0,8 отн. ед. выше контрольного значения).

Восприимчивость исследуемых проростков к осмотическому стрессу определена с помощью индекса восприимчивости к стрессу (SSI). На основании полученных значений SSI можно заключить, что проростки интрогрессивных линий L3 и L4, полученных с использованием одного и того же сорта-реципиента Саратовская 68, но имеющих транслокацию разных генов устойчивости к ржавчине (для L3 это ген Lr28, а для линии 4 – Lr29), характеризуются различной восприимчивостью к осмотическому стрессу.

Проростки линии L3, в отличие от линии L4 и сорта Саратовская 68, восприимчивы к осмотическому стрессу: значение индекса SSI выше порогового по всем трем морфометрическим показателям, а именно: длине побега ($SSI(L)$), максимальной длине корня в корневой системе проростка ($SSI(R_{max})$), общей длине корневой системы ($SSI(R_s)$).

Это также подтверждается морфометрическими данными, показателями корнеобеспеченности и корневого индекса: проростки линии L3, восприимчивой к осмотическому стрессу, характеризуются минимальной среди изученных линий и сортов длиной корневой системы, низким показателем корневого индекса, менее выраженным повышением корнеобеспеченности в условиях стресса по сравнению с контрольным значением.

Сравнительный анализ полученных данных проростков линий L12 и L4, у которых присутствует один и тот же ген устойчивости к ржавчине – Lr29, но в качестве реципиента гена выступили разные сорта, позволяет установить, что восприимчивость к осмотическому стрессу, оцененная по морфометрическим параметрам, различается. Более восприимчивыми являются проростки линии L12, для которых реципиентом гена устойчивости является сорт Саратовская 70: значение индекса SSI проростков линии L12 выше порогового по морфометрическим показателям корневой системы, а именно, максимальной длине корня в корневой системе проростка ($SSI(R_{max})$), общей длине корневой системы ($SSI(R_s)$). Несмотря на отсутствие статистически значимых различий по длине корневой системы проростков этих линий, по максимальной длине корня в корневой системе проростка различия статистически значимы.

Полученные в настоящей работе данные позволяют по ряду морфометрических показателей охарактеризовать устойчивость к осмотическому стрессу интрогрессивных линий на ранних этапах морфогенеза проростков, что имеет важное значение для селекционной работы.

Список литературы

1. Çiğ F., Toprak Z. E. Ç. The effect of water stress on wheat quality and yield parameters under abiotic stress condition // International Anatolian Scientific Research Congress. 2023. Vol. 5. P. 280–286.



2. Тамразов Т. Г. Влияние засухи на морфофизиологические показатели и показатели продуктивности изученных местных генотипов пшеницы // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7, № 10. С. 45–56. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71/06>
3. Грабовец А. И., Кадушкина В. П., Коваленко С. А., Бирюкова О. В. Итоги селекции яровой твердой пшеницы на продуктивность и качество в условиях засух на Дону // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 3. С. 23–27. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10304>
4. Адонина И. Г., Тимонова Е. М., Салина Е. А. Интрогрессивная гибридизация мягкой пшеницы: результаты и перспективы // Генетика. 2021. Т. 57, № 4. С. 384–402. <https://doi.org/10.31857/S0016675821030024>
5. Козлова М. В. Изучение интрогрессивных линий мягкой пшеницы, содержащих чужеродный генетический материал // МНСК-2018: Сельскохозяйственные науки : материалы 56-й Международной научной студенческой конференции (Новосибирск, 22–27 апреля 2018 г.). Новосибирск : Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2018. С. 13.
6. Коробко В. В., Даштоян Ю. В., Калинина А. В., Костикова Ю. А. Влияние солевого стресса на рост и развитие корневой системы проростков интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 2. С. 195–204. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-2-195-204>, EDN: VFHSFH
7. Baranova O. A., Adonina L. G., Sibikeev S. N. Molecular cytogenetic characteristics of new spring bread wheat introgressive lines resistant to stem rust // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2024. Vol. 28, № 4. P. 377–386. <https://doi.org/10.18699/vjgb-24-43>
8. Осипова С. В., Пермяков А. В., Рудиковский А. В., Рудиковская Е. Г., Пшеничникова Т. А. Устойчивость к засухе фотосинтетического аппарата линий пшеницы *Triticum aestivum* L. с интрогрессиями от *Aegilops tauschii* Coss. в хромосоме 2D // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2025. Т. 29, № 4. С. 530–538. <https://doi.org/10.18699/vjgb-25-56>
9. Горлачева О. В., Горбачева С. Н., Лютенко В. С., Анцыферова О. В. Подбор концентрации осмотика ПЭГ 6000 для определения засухоустойчивости генотипов проса в период прорастания семян // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 3. С. 30–36. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-3-30-36>
10. Ханыева А., Костикова Ю. А., Коробко В. В. Влияние осмотического стресса на рост корневой системы проростков интрогрессивных линий мягкой пшеницы // Исследования молодых ученых в биологии и экологии – 2025 : сборник научных статей / под ред. О. И. Юдаковой [Электронное издание сетевого распространения]. Саратов : СГУ им. Н. Г. Чернышевского, 2025. С. 144–146.
11. Sharifi P., Astereki H., Sheikh F., Khorasanizadeh M. Evaluation of faba bean genotypes in normal and drought stress conditions by tolerance and susceptibility indices // Central Asian Journal of Plant Science Innovation. 2021. Vol. 1, № 4. P. 176–179. <https://doi.org/10.22034/CAJPSI.2021.04.01>
12. Калыбекова Ж. Т., Цыганков В. И., Зуев Е. В., Новикова Л. Ю. Использование индексов засухоустойчивости при изучении коллекции яровой мягкой пшеницы в условиях Актюбинской области // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 3. С. 85–95. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-3-85-95>
13. Fischer R., Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses // Australian Journal of Agricultural Research. 1978. Vol. 29. P. 897–912. <http://dx.doi.org/10.1071/AR9780897>
14. Abdel-Ghani A. H. Response of wheat varieties from semi-arid regions of Jordan to salt stress // Journal of Agronomy and Crop Sci. 2009. Vol. 195, № 1. P. 55–65. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2008.00319.x>
15. Даштоян Ю. В., Калинина А. В., Коробко В. В. Влияние засоления на морфогенез проростков интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом *Aegilops columnaris* // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2023. Т. 23, вып. 3. С. 308–317. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2023-23-3-308-317>
16. Ledo A., Burslem D. F. R. P., Paul K. I., Battaglia M., England J. R., Pinkard E., Roxburgh S., Ewel J. J., Barton C., Brooksbank K., Carter J., Eid T. H., Fitzgerald A., Jonson J., Mencuccini M., Montagu K. D., Montero G., Ruizpeinado R., Mugasha W. A., Ryan C. M., Sochacki S., Specht A., Wildy D., Wirth C., Zerihun A., Chave J. Tree size and climatic water deficit control root to shoot ratio in individual trees globally // New Phytologist. 2018. Vol. 217, № 1. P. 8–11. <https://doi.org/10.1111/nph.14863>
17. Rauf S., Haider M. S., Tariq S. A., Ejaz M., Ashraf E., Noorka I. R. Prospects of inducing resistance in fodder species against toxic ions and metals // Bioremediation Journal. 2013. Vol. 17, № 4. P. 212–230.
18. Fellahi Z. E. A., Zaghdoudi H., Bensaadi H., Boutalbi W., Hannachi A. Assessment of salt stress effect on wheat (*Triticum aestivum* L.) // Cultivars at Seedling Stage. 2019. Vol. 84, № 4. P. 347–355.
19. Bchini H., Chaabane R., Mosbahi M., Ben Naceur M., Sayar R. Application of salt tolerance indices for screening barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars // International Journal of Current Research. 2011. Vol. 3. P. 8–13.
20. Зубехина А. А., Коробко В. В. Восприимчивость некоторых интрогрессивных линий мягкой пшеницы к солевому стрессу // Исследования молодых ученых в биологии и экологии – 2025 : сборник научных



ных статей / под ред. О. И. Юдаковой [Электронное издание сетевого распространения]. Саратов : СГУ имени Н. Г. Чернышевского, 2025. С. 69–71.

References

1. Çiğ F., Toprak Z. E. Ç. The effect of water stress on wheat quality and yield parameters under abiotic stress condition. *International Anatolian Scientific Research Congress*, 2023, vol. 5, pp. 280–286.
2. Tamrazov T. G. Compare droughts on morphophysiological parameters and productivity indicators of studied local wheat genotypes. *Bulletin of Science and Practice*, 2021, vol. 7, no. 10, pp. 45–56 (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71/06>
3. Grabovets A. I., Kadushkina V. P., Kovalenko S. A., Biryukova O. V. Results of breeding spring durum wheat for productivity and quality under drought conditions in the Don region. *Achievements of Science and Technology in the Agro-industrial Complex*, 2021, vol. 35, no. 3, pp. 23–27 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10304>
4. Adonina I. G., Timonova E. M., Salina E. A. Wheat–Alien introgression breeding: Current status and prospects. *Russian Journal of Genetics*, 2021, vol. 57, no. 4, pp. 384–402 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0016675821030024>
5. Kozlova M. V. Study of introgressive lines of common wheat containing foreign genetic material. *ISSC-2018: Agricultural Sciences: Proc. of the 56th Internation. sci. stud. conf. (Novosibirsk, April 22–27, 2018)*. Novosibirsk, Novosibirsk National Research State University Publ., 2018, pp. 13 (in Russian).
6. Korobko V. V., Dashtoyan Yu. V., Kalinina A. V., Kostikova Yu. A. The effect of salt stress on the growth and development of the root system of seedlings of introgressive lines of spring bread wheat. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 2, pp. 195–204 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-2-195-204>, EDN: VFHSFH
7. Baranova O. A., Adonina L. G., Sibikeev S. N. Molecular cytogenetic characteristics of new spring bread wheat introgressive lines resistant to stem rust. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 377–386. <https://doi.org/10.18699/vjgb-24-43>
8. Osipova S. V., Permyakov A. V., Rudikovskiy A. V., Rudikovskaya E. G., Pshenichnikova T. A. Drought tolerance of the photosynthetic apparatus of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines with introgressions in chromosome 2D from *Aegilops tauschii* Coss. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2025, vol. 29, iss. 4, pp. 530–538 (in Russian). <https://doi.org/10.18699/vjgb-25-56>
9. Gurlacheva O. V., Gorbacheva S. N., Lyutenko V. S., Antsyferova O. V. Selection of the concentration of osmotic agent PEG 6000 for determining the drought resistance of millet genotypes during the period of seed germination. *Works on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 2021, vol. 182, no. 3, pp. 30–36 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-3-30-36>
10. Hanyeva A., Kostikova Yu. A., Korobko V. V. Effect of osmotic stress on the growth of the root system of seedlings of introgressive lines of common wheat. In: *Issledovaniya molodykh uchenykh v biologii i ehkologii – 2025: sbornik nauchnykh statey. Pod red. O. I. Yudakovoy (Elektronnoe izdanie setevogo rasprostraneniya)* [Yudakova O. I., ed. Research of young scientists in biology and ecology – 2025: Collection of sci. arts. (Electronic publication of online distribution)]. Saratov, Saratov State University Publ., 2025, pp. 144–146 (in Russian).
11. Sharifi P., Astereki H., Sheikh F., Khorasanizadeh M. Evaluation of faba bean genotypes in normal and drought stress conditions by tolerance and susceptibility indices. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, 2021, vol. 1, no. 4, pp. 176–179. <https://doi.org/10.22034/CAJPSI.2021.04.01>
12. Kalybekova Zh. T., Tsygankov V. I., Zuev E. V., Novikova L. Yu. Using drought resistance indices in studying a collection of spring soft wheat in the Aktobe region. *Transactions on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 2022, vol. 183, no. 3, pp. 85–95 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-3-85-95>
13. Fischer R., Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1978, vol. 29, pp. 897–912. <http://dx.doi.org/10.1071/AR9780897>
14. Abdel-Ghani A. H. Response of wheat varieties from semi-arid regions of Jordan to salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Sci*, 2009, vol. 195, no. 1, pp. 55–65. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2008.00319.x>
15. Dashtoyan I. V., Kalinina A. V., Korobko V. V. Effect of salinity on the morphogenesis of seedlings of introgressive lines of spring bread wheat with genetic material *Aegilops columnaris*. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2023, vol. 23, iss. 3, pp. 308–317 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2023-23-3-308-317>
16. Ledo A., Burslem D. F. R. P., Paul K. I., Battaglia M., England J. R., Pinkard E., Roxburgh S., Ewel J. J., Barton C., Brooksbank K., Carter J., Eid T. H., Fitzgerald A., Jonson J., Mencuccini M., Montagu K. D., Montero G., Ruizpeinado R., Mugasha W. A., Ryan C. M., Sochacki S., Specht A., Wildy D., Wirth C., Zerihun A., Chave J. Tree size and climatic water deficit control root to shoot ratio in individual trees globally. *New Phytologist*, 2018, vol. 217, no. 1, pp. 8–11. <https://doi.org/10.1111/nph.14863>
17. Rauf S., Haider M. S., Tariq S. A., Ejaz M., Ashraf E., Noorka I. R. Prospects of inducing resistance in fodder species against toxic ions and metals. *Bioremediation Journal*, 2013, vol. 17, no. 4, pp. 212–230.



18. Fellahi Z. E. A., Zaghdoudi H., Bensaadi H., Boutalbi W., Hannachi A. Assessment of salt stress effect on wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cultivars at Seedling Stage*, 2019, vol. 84, no. 4, pp. 347–355.
19. Bchini1 H., Chaabane R., Mosbahi M., Ben Naceur M., Sayar R. Application of salt tolerance indices for screening barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *International Journal of Current Research*, 2011, vol. 3, pp. 8–13.
20. Zubekhina A. A., Korobko V. V. Susceptibility of some introgressive lines of common wheat to salt stress. In: *Issledovaniya molodyh uchenykh v biologii i ehkologii – 2025: sbornik nauchnykh statey. Pod red. O. I. Yudakovoy (Ehlektronnoe izdanie setevo-go rasprostraneniya)* [Yudakova O. I., ed. Research of young Scientists in Biology and Ecology – 2025: Collection of sci. arts. (Electronic publication of online distribution)]. Saratov, Saratov State University Publ., 2025, pp. 69–71 (in Russian).

Поступила в редакцию 02.12.2025; одобрена после рецензирования 21.02.2026; принята к публикации 26.02.2026
The article was submitted 02.12.2025; approved after reviewing 21.02.2026; accepted for publication 26.02.2026