

# Изменение солеустойчивости мягкой пшеницы в результате интрогрессии генетического материала *Aegilops speltoides* и *Triticum timopheevii*

Р.С. Юдина<sup>1</sup>, И.Н. Леонова<sup>1</sup>, Е.А. Салина<sup>1</sup>, Е.К. Хлесткина<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук», Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Новосибирск, Россия

Для повышения устойчивости мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к различным факторам биотического и абиотического стресса в настоящее время широко применяется создание новых форм с использованием интрогрессий участков геномов других видов злаков. Одним из наиболее существенных абиотических факторов внешней среды, препятствующих расширению территории возделывания пшеницы, является засоление почвы. У неустойчивых сортов пшеницы в условиях засоления падает урожайность и ухудшается качество зерна. Целью данного исследования было установление степени влияния чужеродного генетического материала на устойчивость проростков мягкой пшеницы *T. aestivum* к засолению. Для скрининга интрогрессивных линий, несущих единичные фрагменты от *Aegilops speltoides* и *T. timopheevii* в хромосомах 2A, 5B и 6B мягкой пшеницы, применялся метод лабораторной оценки солеустойчивости проростков. Исходные родительские формы яровой мягкой пшеницы (Саратовская 29, Новосибирская 29 и Родина-1), обладающие умеренной солеустойчивостью, использовались в качестве контроля. В результате проведенной оценки установлено, что присутствие транслокации T5BS•5BL-5SL в геноме Новосибирской 29 и Родины-1 обеспечивает повышение устойчивости. Другая транслокация от *Ae. speltoides* (T6BS•6BL-6SL), наоборот, связана с понижением устойчивости. Различные фрагменты генома *T. timopheevii* также по-разному влияли на солеустойчивость: интрогрессия в хромосому 2A повышала, а в 5B существенно уменьшала устойчивость пшеницы к засолению. Наблюдаемые различия между исходными формами пшеницы и полученными на их основе интрогрессивными линиями обсуждаются с учетом локализации чужеродных интрогрессий в исследуемых образцах и расположения в хромосомах пшеницы известных генов, контролирующих солеустойчивость. Предполагается, что в длинном плече хромосомы 5B дистальнее маркера *Xgwm0604* располагается ранее не описанный ген, влияющий на солеустойчивость проростков пшеницы.

Ключевые слова: *Aegilops speltoides*; *Aegilops tauschii*; *Triticum aestivum*; *Triticum timopheevii*; солеустойчивость; мягкая пшеница; чужеродные интрогрессии.

## Change of salt tolerance in common wheat after introgression of genetic material from *Aegilops speltoides* and *Triticum timopheevii*

R.S. Yudina<sup>1</sup>, I.N. Leonova<sup>1</sup>, E.A. Salina<sup>1</sup>, E.K. Khlestkina<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

To improve biotic and abiotic stress tolerance in common wheat (*Triticum aestivum* L.), novel genotypes with genomic fragments introgressed from other cereal species are extensively developed. One of the most important abiotic environmental factors that impede the expansion of wheat cultivation areas is soil salinity. Salt-sensitive wheat varieties have poor yield and impaired grain quality when exposed to salinity. The aim of this study was to evaluate the degree of influence of alien genetic material on salinity tolerance in common wheat seedlings. Seedlings of introgression lines carrying single fragments of *Aegilops speltoides* and *T. timopheevii* genomes in common wheat chromosomes 2A, 5B, and 6B, were tested for salt tolerance. The parental common spring wheat genotypes Saratovskaya 29, Novosibirskaya 29 and Rodina-1, possessing moderate salt tolerance, were used as reference. The experiment showed that the presence of the translocation T5BS•5BL-5SL either in Novosibirskaya 29 or in Rodina-1 increased salt tolerance. On the contrary, another translocation between *T. aestivum* and *Ae. speltoides* (T6BS•6BL-6SL) made wheat more sensitive to salinity. Different fragments of *T. timopheevii* genome had different effects: introgression into the chromosome 2A increased salt tolerance, whereas introgression into chromosome 5B reduced it significantly. The observed differences between the parental wheat genotypes and the introgression lines derived from them are discussed with regard to the locations of alien introgression fragments



in the lines tested and the map positions of known wheat QTLs and major genes related to salt tolerance. It is assumed that a locus yet undescribed that affects wheat salt tolerance is located distal to the *Xgwm0604* marker on the long arm of chromosome 5B.

**Key words:** *Aegilops speltoides*; *Aegilops tauschii*; *Triticum aestivum*; *Triticum timopheevii*; salt tolerance; bread wheat; alien introgressions.

#### КАК ЦИТИРОВАТЬ ЭТУ СТАТЬЮ?

Юдина Р.С., Леонова И.Н., Салина Е.А., Хлесткина Е.К. Изменение солеустойчивости мягкой пшеницы в результате интрогрессии генетического материала *Aegilops speltoides* и *Triticum timopheevii*. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015;19(2):171-175. DOI 10.18699/VJ15.021

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE?

Yudina R.S., Leonova I.N., Salina E.A., Khlestkina E.K. Change of salt tolerance in common wheat after introgression of genetic material from *Aegilops speltoides* and *Triticum timopheevii*. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii – Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2015;19(2):171-175. DOI 10.18699/VJ15.021

Растущие потребности населения планеты в увеличении объема производства зерновых злаков могут быть удовлетворены за счет расширения территории возделывания и повышения урожайности основных зерновых культур, в том числе мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). При этом основным препятствием для расширения посевных площадей мягкой пшеницы являются неблагоприятные факторы, к которым пшеница недостаточно устойчива. Засоление почвы относится к одному из основных лимитирующих факторов, негативно влияющих на рост и развитие пшеницы. У пшеницы в условиях засоления ухудшается качество зерна и падает урожайность (Maas, Grieve, 1990; Maas et al., 1994; Turki et al., 2012; Houshmand et al., 2014). Одним из способов, позволяющих преодолеть негативное воздействие фактора засоления, служит использование толерантных к засолению форм пшеницы. Создание и культивирование таких форм позволит расширить земли сельскохозяйственного назначения и снизить потери урожая.

Поиск новых генов устойчивости к засолению осуществляется как в коллекциях самой мягкой пшеницы, так и среди других видов и родов злаков, чей генетический материал может быть интрогрессирован в геном мягкой пшеницы путем скрещиваний. Среди потенциальных доноров для повышения солеустойчивости пшеницы отмечаются такие виды злаков, как *Aegilops speltoides* Tausch. (Sadat Noori, 2005), *Ae. tauschii* Coss. (Gurmani et al., 2014), *Secale cereale* L. (Pat. RU 2138156; Sayed, 1985), *Thinopyrum bessarabicum* Savul. & Rayss (King et al., 1997), *Thinopyrum ponticum* Podp. (Suiyun et al., 2004). В большинстве опубликованных работ с применением чужеродно-замещенных или чужеродно-дополненных форм пшеницы показано влияние отдельных геномов или хромосом различных видов злаков на солеустойчивость. Однако для эффективного использования чужеродных генов в селекции пшеницы необходима более точная информация об их локализации. Современные технологии позволяют в короткие сроки получать интрогрессивные линии пшеницы, содержащие единичные фрагменты генетического материала видов-доноров в различных хро-

мосомах мягкой пшеницы (Pestsova et al., 2006; Адонина и др., 2012; Chen et al., 2013; Timonova et al., 2013). Такие линии могут быть эффективным экспериментальным средством выявления участков чужеродных хромосом, содержащих генетические факторы, ответственные за устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды (Юдина и др., 2014).

Цель данного исследования – установление степени влияния генетического материала единичных интрогрессивных *Ae. speltoides* и *T. timopheevii* на солеустойчивость мягкой пшеницы.

#### Материалы и методы

Экспериментальным материалом служили яровые формы мягкой пшеницы: Новосибирская 29, Родина-1, Саратовская 29 и линии, созданные на их основе (таблица). Поскольку солеустойчивость взрослых растений коррелирует с устойчивостью на ранних стадиях развития (при проращивании семян на засоленном субстрате), для ускоренного анализа коллекций используют методы лабораторной оценки, при которых тестирующим признаком служит подавление накопления биомассы и удлинения роста проростков в солевом растворе по сравнению с проростками пресного контроля (Иванов, Удовенко, 1970; Wang et al., 2011; Jamil et al., 2014; Mardani et al., 2014).

Для оценки проростков на солеустойчивость семена интрогрессивных линий и исходных форм пшеницы помещали в обработанные ультрафиолетом чашки Петри на увлажненную дистиллированной водой фильтровальную бумагу, выдерживали 24 ч при 4 °С в темноте для синхронизации прорастания, затем 24 ч при 20 °С и 12-часовом режиме освещения. В анализе было использовано не менее 96 растений каждого образца. Эксперимент проводился в трех повторностях. Проросшие семена переносили в чашки Петри, содержащие 150 мМ раствор NaCl или дистиллированную воду (контрольный опыт) и выдерживали 7 сут при 20 °С и 12-часовом режиме освещения, затем измеряли массу и длину первого листа (вместе с coleoptиле) и корней. Индекс солеустойчивости рассчитывали по массе листа (как процентное отношение

## Растительный материал, используемый в работе

Краткое обозначение	Полное наименование	Характеристика чужеродного генетического материала	Литературный источник
N29	Сорт <i>T. aestivum</i> Новосибирская 29	–	–
N29– <i>Ae. speltoides</i> 5SL*	Интрогрессивная линия Новосибирская 29 – <i>Ae. speltoides</i> 21-4/933-1-5SL	Транслокация T5BS•5BL-5SL (донор <i>Ae. speltoides</i> k-389)	Патент RU 2484621
Rod.	<i>T. aestivum</i> Родина-1 (линия сорта Родина, отличающаяся отсутствием транслокации T1RS•1BL, характерной для сорта Родина)	–	Адолина и др., 2012
Rod.– <i>Ae. speltoides</i> 5SL*	Интрогрессивная линия Родина-1 – <i>Ae. speltoides</i> 16-9-5SL	Транслокация T5BS•5BL-5SL (донор <i>Ae. speltoides</i> k-389)	Адолина и др., 2012
Rod.– <i>Ae. speltoides</i> 6SL	Интрогрессивная линия Родина-1 – <i>Ae. speltoides</i> 17-7-6SL	Транслокация T6BS•6BL-6SL (донор <i>Ae. speltoides</i> k-389)	Адолина и др., 2012
S29	Сорт <i>T. aestivum</i> Саратовская 29	–	–
S29– <i>T. timopheevii</i> 2A	Интрогрессивная линия Саратовская 29 – <i>T. timopheevii</i> 832-2A-BC3	Интрогрессия от <i>T. timopheevii</i> var. <i>viticulosum</i> в хромосоме 2A	Timonova et al., 2013
S29– <i>T. timopheevii</i> 5B/5G	Интрогрессивная линия Саратовская 29 – <i>T. timopheevii</i> 832-5B-BC3	Интрогрессия от <i>T. timopheevii</i> var. <i>viticulosum</i> в хромосоме 5B	Timonova et al., 2013

\* Линии N29–*Ae. speltoides* 5SL и Rod–*Ae. speltoides* 5SL несут транслокации T5BS•5BL-5SL *Ae. speltoides* равной протяженности при этом других интрогрессий от *Ae. speltoides* в геноме этих линий не обнаружено (Адолина и др., 2012; Патент RU 2484621).

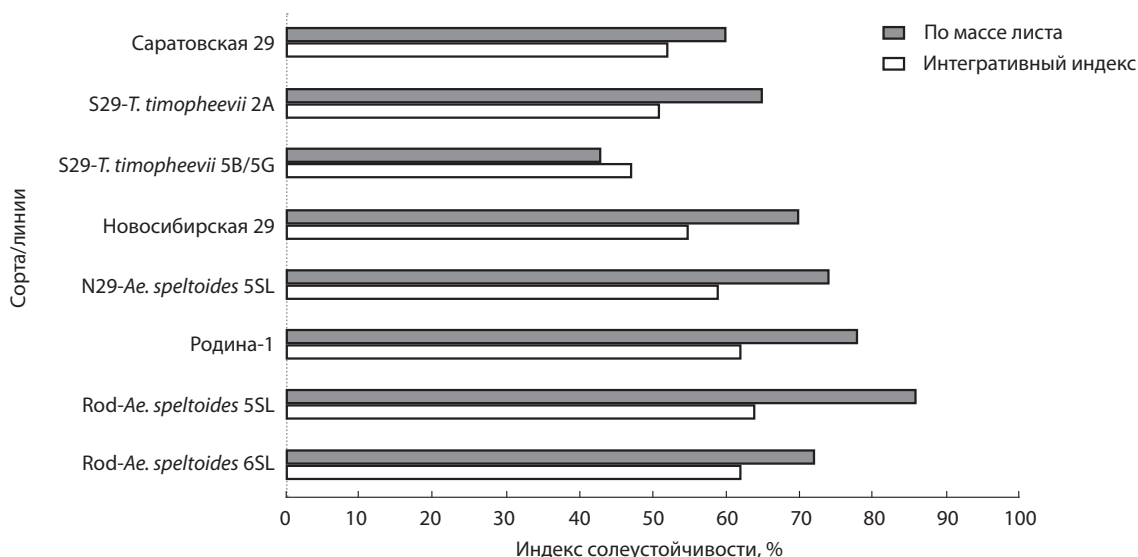
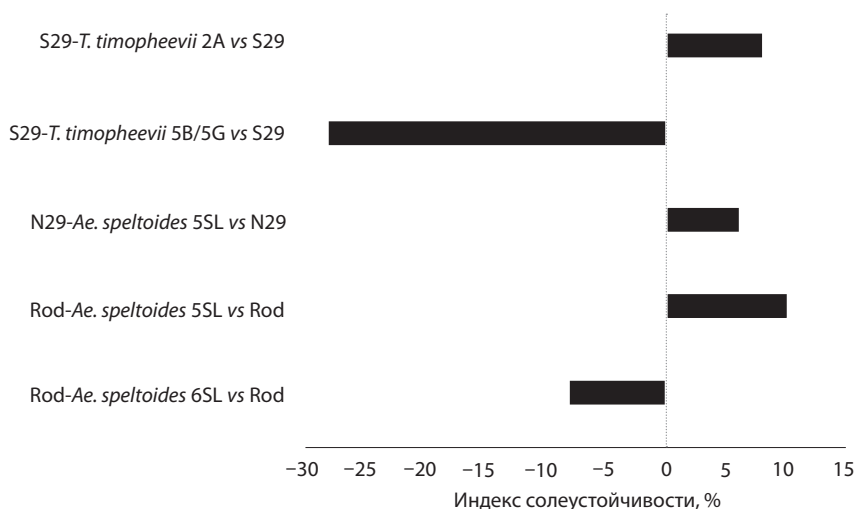


Рис. 1. Индексы солеустойчивости, выявленные у изученных форм пшеницы.

параметров массы, установленных при использовании раствора соли, к показателям массы, выявленным в контрольном опыте); интегративный индекс рассчитывали с учетом всех четырех измеряемых параметров (как среднее всех индексов). Достоверность изменений по сравнению с контролем оценивали с помощью непараметрического теста Манна–Уитни (*U*-test) (Mann, Whitney, 1947). Корреляцию между индексами, основанными на изменении массы листа, и интегративными индексами определяли по Спирмену (Spearman, 1904).

## Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены индексы толерантности, установленные для каждого из 8 изученных сортов/линий. Между индексами, рассчитанными по массе листа, и интегративными индексами наблюдалась высокая корреляция ( $r_s = 0,935$ ;  $p < 0,01$ ), поэтому при дальнейшем обсуждении полученных результатов будет рассматриваться один из этих индексов (по массе листа). Снижение массы листа при культивировании в растворе 150 мМ NaCl относительно контроля у всех изученных форм пшеницы было



**Рис. 2.** Изменение индексов солеустойчивости (по массе листа) у интрогрессивных линий по сравнению с исходными формами пшеницы.

достоверным (см. Доп. материалы<sup>1</sup>). Исходные родительские формы обладали умеренной солеустойчивостью, индекс варьировал от 60 до 78 %, при этом он повышался в ряду Саратовская 29 < Новосибирская 29 < Родина-1 (рис. 1). Изменение индексов у интрогрессивных линий зависело от хромосомной локализации и происхождения чужеродного генетического материала (рис. 1, 2).

Изменения солеустойчивости интрогрессивных линий в положительную или отрицательную сторону по сравнению с исходными формами пшеницы указаны на рис. 2. Показано, что присутствие транслокации T5BS•5BL-5SL в геномах как Новосибирской 29, так и Родины-1 приводит к повышению устойчивости на 6–10 %. Линия мягкой пшеницы, полученная на основе исходной формы Родина-1, несущая другую транслокацию от *Ae. speltoides* (T6BS•6BL-6SL), показала снижение индекса солеустойчивости по сравнению с исходной формой (рис. 2, линия Rod.-*Ae. speltoides* 6SL).

Различное влияние на солеустойчивость оказало введение в геном сорта Саратовская 29 разных фрагментов генома *T. timopheevii* (рис. 2). Существенное снижение индекса солеустойчивости (почти на 30 %) было выявлено у линии, содержащей фрагмент интрогрессии участка хромосомы 5G в теломерной области хромосомы 5BL (рис. 2), в то время как в случае с линией, несущей интрогрессию от *T. timopheevii* в хромосоме 2A, наблюдалось положительное влияние на солеустойчивость.

Было проведено сравнение локализации интрогрессий в изученных линиях (Адонина и др., 2012; Пат. RU 2484621; Timonova et al., 2013) с положением на хромосомах 2A, 5B и 6B пшеницы генов и QTL, связанных с солеустойчивостью (Lindsay et al., 2004; Ma et al., 2007; Genc et al., 2010). Согласно литературным данным, пять локусов, проявляющих связь с солеустойчивостью, были картированы в хромосоме 2A в районе, который соответствует локализации фрагмента интрогрессии от *T. timopheevii* у изученной в настоящей работе линии S29-*T. timopheevii* 2A. В частности, локусы *Q.sb2A* и *Q.Na2A* были ранее выявлены при анализе таких параметров, как биомасса проростков при засолении и концентрация  $\text{Na}^+$  в проростках соответственно (Genc et al., 2010). Локусы *Qpdws-2A.2* и *Qsfws-2A.1* были определены в условиях засоления при оценке таких показателей, как сухая и сырая масса проростков (Ma et al., 2007). Главный ген *Nax1*, регулирующий содержание ионов натрия в клетке (кодирующий натриевый транспортер НКТ7) (Huang et al., 2006), также локализован в районе хромосомы 2A (Lindsay et al., 2004), соответствующем локализации фрагмента интрогрессии в линии S29-*T. timopheevii* 2A. Таким образом, нельзя

исключать, что выявленное в настоящей работе положительное влияние фрагмента генома *T. timopheevii*, интрогрессированного в хромосому 2A сорта Саратовская 29, связано с каким-либо из перечисленных выше локусов количественных признаков (*Q.sb2A*, *Q.Na2A*, *Qpdws-2A.2* или *Qsfws-2A.1*) или геном *Nax1*.

В хромосоме 5B к настоящему времени выявлен ряд локусов, ассоциированных с солеустойчивостью взрослых растений и проростков пшеницы (Ma et al., 2007; Genc et al., 2010), однако локализация этих QTL (в интервалах *Xgwm499-Xwmc289* и *Xfbb12.2-Xfba127*) не совпадает с более дистальным местоположением участка генома *T. timopheevii*, интрогрессированного в хромосому 5B сорта Саратовская 29 (Timonova et al., 2013). Не исключено, что негативное влияние данного фрагмента на солеустойчивость проростков пшеницы (рис. 2) связано с ранее не описанным локусом, расположенным дистальнее маркера *Xgwm0604*.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что фрагменты, происходящие из разных хромосом *T. timopheevii*, различным образом влияют на солеустойчивость проростков мягкой пшеницы.

В отличие от S29-*T. timopheevii* 5B/5G, в линиях, содержащих участок хромосомы 5SL от *Ae. speltoides*, точка разрыва транслокации в хромосоме 5B располагается проксимальнее маркеров *Xgwm0604* (Адонина и др., 2012; Пат. RU 2484621; Timonova et al., 2013), поэтому область чужеродной транслокации может частично совпадать с районом, где были выявлены QTL, ассоциированные с солеустойчивостью, в том числе в тестах на проростках – локусы *Q.sb5B* (биомасса проростков) и *Q.K5B* (концентрация  $\text{K}^+$  в проростках) (Genc et al., 2010). Именно с данными локусами может быть связано положительное влияние фрагмента генома *Ae. speltoides*, интрогрессированного в хромосому 5B Новосибирской 29 и Родины-1.

В линии Rod.-*Ae. speltoides* 6SL транслокация в длинном плече хромосомы 6B перекрывается с районом локализации *Qsii-6B.4* (локус, контролирующий степень повреждения проростков при засолении – «salt

<sup>1</sup> Дополнительные материалы см. в Приложении 1 по адресу: <http://www.bionet.nsc.ru/vogis/download/pict-2015-06/appx1.pdf>

injury index at seedling stage») (Ma et al., 2007). Отрицательное влияние транслокации T6BS•6BL-6SL может быть потенциально связано с данным локусом.

Ранее при изучении синтетической аллогексаплоидной формы пшеницы, полученной на основе скрещивания *T. durum* и *Ae. speltoides*, было показано положительное влияние генома *Ae. speltoides* на устойчивость пшеницы к засолению (Sadat Noori, 2005), однако до сих пор не был установлен вклад конкретных хромосом в формирование данного признака.

В настоящей работе впервые выявлено влияние фрагментов хромосом 5S и 6S от *Ae. speltoides*, а также участков хромосом 2A<sup>t</sup> и 5G *T. timopheevii* на солеустойчивость проростков пшеницы.

### Благодарности

Работа поддержана Государственной бюджетной программой VI.53.1.5.

Авторы благодарят Ольгу Викторовну Захарову за техническую помощь в экспериментальной работе.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

- Адонина И.Г., Сусолкина Н.В., Тимонова Е.М., Христов Ю.А., Салина Е.А. Создание линий мягкой пшеницы с транслокациями от *Aegilops speltoides* Tausch. и их оценка на устойчивость к листовой ржавчине. *Генетика*. 2012;48(4):488-494.
- Иванов Ю.М., Удовенко Г.В. Технологическая модификация метода проростков и анализ его пригодности для оценки солеустойчивости растений. *Тр. по прикл. ботан., генет. и селекции*. 1970;43:160-168.
- Пат. RU 2138156. Способ создания солеустойчивых форм мягкой пшеницы. Щапова А.И., Кравцова Л.А. Опубл. 27.09.1999.
- Пат. RU 2484621. Способ создания линий мягкой пшеницы, устойчивых к бурой ржавчине. Салина Е.А., Леонова И.Н., Петраш Н.В., Адонина И.Г., Щербань А.Б. Опубл. 20.06.2013.
- Юдина Р.С., Леонова И.Н., Салина Е.А., Хлесткина Е.К. Влияние чужеродных интрогрессий в геноме пшеницы на ее устойчивость к осмотическому стрессу. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014;18(4/1):643-649.
- Chen P., You C., Hu Y., Chen S., Zhou B., Cao A., Wang X. Radiation-induced translocations with reduced *Haynaldia villosa* chromatin at the *Pm21* locus for powdery mildew resistance in wheat. *Mol. Breed.* 2013;31:477-484. DOI: 10.1007/s11032-012-9804-x
- Genc Y., Oldach K., Verbyla A.P., Lott G., Hassan M., Tester M., Wallwork H., McDonald G. Sodium exclusion QTL associated with improved seedling growth in bread wheat under salinity stress. *Theor. Appl. Genet.* 2010;121:877-894. DOI: 10.1007/s00122-010-1357-y
- Gurmani A.R., Khan S.U., Mabood F., Ahmed Z., Butt S.J., Din J., Mujeeb-Kazi A., Smith D. Screening and selection of synthetic hexaploid wheat germplasm for salinity tolerance based on physiological and biochemical characters. *Int. J. Agric. Biol.* 2014;16:681-690.
- Houshmand S., Arzani A., Mirmohammadi-Maibody S.A.M. Effects of salinity and drought stress on grain quality of durum wheat. *Commun. Soil Sci. Plant Analysis.* 2014;45:297-308. DOI: 10.1080/00103624.2013.861911
- Huang S., Spielmeier W., Lagudah E.S., James R.A., Platten J.D., Dennis E.S., Munns R. A sodium transporter (HKT7) is a candidate for *Nax1*, a gene for salt tolerance in durum wheat. *Plant Physiol.* 2006;142:1718-1727. DOI: 10.1104/pp.106.088864
- Jamil M., Kanwal M., Aslam M.M., Khan S.U., Malook I., Tu J., Rehman S. Effect of plant-derived smoke priming on physiological and biochemical characteristics of rice under salt stress condition. *Austr. J. Crop Sci.* 2014;8:159-170.
- King I.P., Forster B.P., Law C.C., Cant K.A., Orford S.E., Gorham J., Reader S., Miller T.E. Introgression of salt-tolerance genes from *Thinopyrum bessarabicum* into wheat. *New Phytologist.* 1997;37:75-81. DOI: 10.1046/j.1469-8137.1997.00828.x
- Lindsay M.P., Lagudah E.S., Hare R.A., Munns R. A locus for sodium exclusion (*Nax1*), a trait for salt tolerance, mapped in durum wheat. *Functional Plant Biol.* 2004;31:1105-1114. DOI: 10.1071/FP04111
- Ma L.Q., Zhou E.F., Huo N.X., Zhou R.H., Wang G.Y., Jia J.Z. Genetic analysis of salt tolerance in a recombinant inbred population of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica.* 2007;153:109-117. DOI: 10.1007/s10681-006-9247-8
- Maas E.V., Grieve C.M. Spike and leaf development of salt-stressed wheat. *Crop Sci.* 1990;30:1309-1313. DOI: 10.2135/cropsci1990.0011183X003000060031x
- Maas E.V., Lesch S.M., Francois L.E., Grieve C.M. Tiller development in salt-stressed wheat. *Crop Sci.* 1994;34:1594-1603. DOI: 10.2135/cropsci1994.0011183X003400060032x
- Mann H.B., Whitney D.R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Ann. Math. Statist.* 1947;18:50-60. DOI: 10.1214/aoms/1177730491
- Mardani Z., Rabiei B., Sabouri H., Sabouri A. Identification of molecular markers linked to salt-tolerant genes at germination stage of rice. *Plant Breeding.* 2014;133:196-202. DOI: 10.1111/pbr.12136
- Pestsova E.G., Röder M.S., Börner A. Development and QTL assessment of *Triticum aestivum*-*Aegilops tauschii* introgression lines. *Theor. Appl. Genet.* 2006;112:634-647. DOI: 10.1007/s00122-005-0166-1
- Sadat Noori S.A. Assessment for salinity tolerance through intergeneric hybridisation: *Triticum durum* × *Aegilops speltoides*. *Euphytica.* 2005;146:149-155. DOI: 10.1007/s10681-005-8001-y
- Sayed H.I. Diversity of salt tolerance in a germplasm collection of wheat (*Triticum* spp.). *Theor. Appl. Genet.* 1985;69:651-657. DOI: 10.1007/BF00251118
- Spearman C. The proof and measurement of association between two things. *Amer. J. Psychol.* 1904;15:72-101. DOI: 10.2307/1412159
- Suiyun C., Suiyun G., Taiyong Q., Fengnin X., Yan J., Huimin C. Introgression of salt-tolerance from somatic hybrids between common wheat and *Thinopyrum ponticum*. *Plant Science.* 2004;167:773-779. DOI: 10.1016/j.plantsci.2004.05.010
- Timonova E.M., Leonova I.N., Röder M.S., Salina E. Marker-assisted development and characterization of a set of *Triticum aestivum* lines carrying different introgressions from the *T. timopheevii* genome. *Mol. Breed.* 2013;31:123-136. DOI: 10.1007/s11032-012-9776-x
- Turki N., Harrabi M., Okuno K. Effect of salinity on grain yield and quality of wheat and genetic relationships among durum and common wheat. *J. Arid Land Studies.* 2012;22(1):311-314.
- Wang Z., Wang J., Bao Y., Wu Y., Zhang H. Quantitative trait loci controlling rice seed germination under salt stress. *Euphytica.* 2011;178:297-307. DOI: 10.1007/s10681-010-0287-8