

УДК 633.16:631.524.85

БОМЕ Н.А., д-р с.-х. наук
ФГБОУ ВПО Тюменский государственный университет
e-mail: bomena@mail.ru

ВНУТРИВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЯЧМЕНЯ КУЛЬТУРНОГО (*HORDEUM VULGARE L.*) ПО УСТОЙЧИВОСТИ К ХЛОРИДНОМУ ЗАСОЛЕНИЮ

Представлены результаты оценки 53 образцов ячменя из мировой коллекции ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова к хлоридному засолению в моделируемых условиях. Показана эффективность отбора форм ячменя по устойчивости к солевому стрессу по комплексу признаков, характеризующих способность семян к прорастанию и формирование биомассы проростков на провокационном фоне. Устойчивые к засолению 16 образцов ячменя были из пяти регионов Российской Федерации и шести зарубежных стран, относились к двум подвидам и восьми ботаническим разновидностям.

Ключевые слова: засоление, устойчивость, ячмень, морфометрические параметры, проросток, образец.

Постановка проблемы. Устойчивость любой открытой биологической системы, в том числе и растений, определяется способностью поддерживать гомеостаз посредством саморегулирующих защитных механизмов. В природных условиях растения часто подвергаются воздействию различных факторов: недостаток воды, освещения, элементов минерального питания, высокая температура, засоление почвы.

Анализ последних исследований и публикаций. Известно, что 25 % площади поверхности Земли, в том числе 10 % территории России, подвержены засолению, что наносит огромный ущерб сельскому хозяйству. Засоление – стрессовый, абиотический фактор, который является одной из основных причин снижения продуктивности сельскохозяйственных растений [1].

Высокие концентрации соли могут ингибировать рост, влияя на процессы деления и дифференцировки клеток. Подавление роста сопряжено с экспрессией некоторых генов (CBF1, DREB1 и ICK1), индуцируемых стрессорным воздействием и не экспрессирующихся в нормальных условиях. Продукты этих генов ингибируют процессы клеточного деления растяжения и подавляют рост [2].

Одним из заданий первостепенной важности является подбор культур и сортов, обладающих наибольшей солеустойчивостью и адаптированных для возделывания на засоленных почвах в различных почвенно-климатических зонах. Ячмень относят к достаточно пластичным культурам, приспособляющимся к засолению почв [3].

В лесостепи Тюменской области распространено 602,1 тыс. га солонцовых и 158,7 тыс. га солонцеватых почв [4]. Недостаточно высокие и не всегда стабильные по годам урожаи различных культур обуславливаются особенностями видов, неблагоприятным влиянием биотических и абиотических факторов, недостаточной изученностью биологии растений и отсутствием сортов с высокими адаптивными свойствами. Вычленив интенсивность действия каждого из комплекса факторов в полевых условиях быстро и полно не всегда представляется возможным.

Для диагностики степени солеустойчивости растений разработан ряд методов: микроскопический, определение всхожести семян, учет скорости появления солевых ожогов у срезанных растений и др. Солеустойчивость растений повышается при намачивании семян в растворе микроэлементов, обработке гиббереллином – препарат увеличивает общую и рабочую поглощающую поверхность корней, что способствует поддержанию должного водного статуса клеток. На повышение устойчивости к хлоридному засолению положительное влияние оказывает предпосевная обработка семян парааминобензойной кислотой [5, 6].

Для получения информативных характеристик по солеустойчивости целесообразно применение лабораторных методов оценки, позволяющих в сравнительно короткие сроки на небольших лабораторных площадях с использованием провокационных фонов выявить формы, устойчивые к неблагоприятным воздействиям. Основным достоинством данных методов является возможность прогнозирования отбора ценных растений в раннем онтогенезе [7, 8, 9, 10].

Цель исследований – оценка образцов ячменя различного эколого-географического происхождения по устойчивости к хлоридному засолению в моделируемых условиях.

Были поставлены следующие задания: определить влияние NaCl на лабораторную всхожесть семян; изучить солеустойчивость ячменя по изменчивости признаков первичной корневой системы и побегов; распределить коллекционные образцы ячменя на группы по устойчивости к хлоридному засолению.

Материал и методика исследований. Материалом исследований послужили 53 образца ячменя из мирового генофонда Всероссийского НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова. Образцы поступили из 12 зарубежных стран (Чехия, Беларусь, Швеция, Турция, Финляндия, Франция, Канада, Дагестан, Узбекистан, Дания, Япония, Украина) и 9 регионов России (Красноярский край, Белгородская обл., Московская обл., Воронежская обл., Кировская обл., Ленинградская обл., Ростовская обл., Челябинская обл., Самарская обл.).

Изученные образцы относятся к двум подвидам: двурядные (*Hordeum distichon* L.), включающие 15 разновидностей (*nutans*, *medicum*, *erectum*, *nudum*, *steudelii*, *persicum*, *deficiens*, *viride*, *zeocrithum*, *latispicatum*, *macrolepis*, *rimpau*, *nigrinudum*, *daghestanicum*, *triceros*) и многорядные (*Hordeum vulgare* L.), представленные 13 разновидностями (*pallidum*, *ricotense*, *parallellum*, *pyramidatum*, *subcornutum*, *horsfordianum*, *latiglumatum*, *atrispicatum*, *grseinigrum*, *himalayense*, *griseirdunerme*, *ibericum*, *hypatherum*).

Определение солеустойчивости ячменя проводили в лаборатории биотехнологических и микробиологических исследований кафедры ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры Тюменского государственного университета по методике, изложенной В.В. Полевым [11].

Семена раскладывали в чашки Петри, предварительно прогретые при 17,5 °С в течение одного часа в сухожаровом шкафу, на фильтровальную бумагу в 0,98 %-ный раствор соли NaCl (7 атм) (опыт) и дистиллированную воду (контроль). Перед раскладкой семена обрабатывали в течение 10 минут 1%-ным раствором KMnO₄ для предотвращения развития плесени. Объём выборки 50 семян в каждой чашке, повторность опыта 4-кратная. Проращивание семян проводили в термостате ГПС-2 при постоянной температуре 22 °С.

Лабораторную всхожесть семян определяли через 7 суток после начала эксперимента. Для характеристики проростков по количественным признакам был проведён учёт следующих параметров: количество зародышевых корней, длина и масса корней и побегов.

Математическая обработка экспериментальных данных выполнена по стандартным методикам [12].

Результаты исследований и их обсуждение. При проращивании семян ячменя на провокационном фоне наблюдалось угнетение ростовых процессов. Особенно ярко оно проявлялось в достоверном снижении длины побега и корня, количества корней (табл. 1).

В то же время при выявленной общей закономерности отмечена специфическая реакция образцов на хлоридное засоление. На основе критерия достоверности изученные образцы разделили на три группы по проявлению морфометрических параметров проростков (количество корней, длина корней, длина побега). В первую группу вошли образцы, которые были достоверно выше контроля по проявлению названных признаков, во второй группе образцы со значением признака на уровне контроля и в третью группу отнесены образцы, находящиеся ниже контроля. У большинства изученных образцов признаки находились на уровне контроля или были достоверно ниже.

Таблица 1 – Влияние хлоридного засоления на морфометрические параметры проростков ячменя (среднее по 53 образцам)

Признаки	Контроль	Опыт
Количество корней, шт.	5,62±0,09	5,31±0,13*
Длина корней, мм	73,14±3,92	52,79±2,78**
Длина побега, мм	81,31±4,08	61,66±3,47**

** - различия между контролем и опытом достоверны при P<0,01

* - различия между контролем и опытом достоверны при P<0,05

Такой подход позволил предварительно оценить устойчивость образцов к засолению и разделить их на три группы: солеустойчивые (достоверные отличия с контролем максимум по одному признаку), чувствительные к засолению (достоверные отличия с контролем по двум

признакам) и несолеустойчивые образцы (достоверные отличия по всем изученным морфологическим признакам).

Для более полной характеристики коллекции ячменя по солеустойчивости был проведен анализ изменчивости количественных признаков, характеризующих развитие корневой системы и побегов у каждого образца.

Так в группе солеустойчивых образцов проявление изученных признаков на засоленном фоне в сравнении с контролем было положительным, отрицательным и нейтральным (рис. 1). У трех образцов Jubilant (к-29889, Чехия), Челябинский 95 (к-30450, Челябинская обл.), Челябинский 1 (к-30819, Челябинская обл.) в условиях стресса отмечено увеличение количества корней. Ботаническая форма (к-24853) из Германии и сорт Сокол (к-30827) из Ростовской области на воздействие стрессового фактора отвечали достоверным увеличением длины побега. По длине корней солеустойчивые образцы в большинстве случаев находились на уровне контроля. Полученные данные могут косвенно указывать на относительную пригодность образцов этой группы для выращивания на засоленной почве.

Среди чувствительных к засолению образцов максимальным снижением признака количества корней на провокационном фоне характеризовались WW-7435 (к-30433) из Швеции и Мутант 11759 (к-30434) из России (Московская область).

У таких образцов как Нур (к-30820) из России (Московская обл.), Karls II (к-30252) из Швеции, ГБ-18 x Винер (к-30086) из Дагестана и Местный (к-4697) из Армении на засоленном фоне проростки формировали самые короткие первичные корни.

Наибольшее угнетение надземной части отмечено у образцов Obruk 86 (к-30320, Турция), Karls II (к-30252, Швеция), Arla (к-20508, Швеция), Местный (к-4697, Армения).

Сорт Зоряный (к-30469, Украина, Одесская обл.) единственный из этой группы повышал значения длины побега на провокационном фоне, что может служить одним из показателей стабильных всходов при выращивании на засоленной почве.

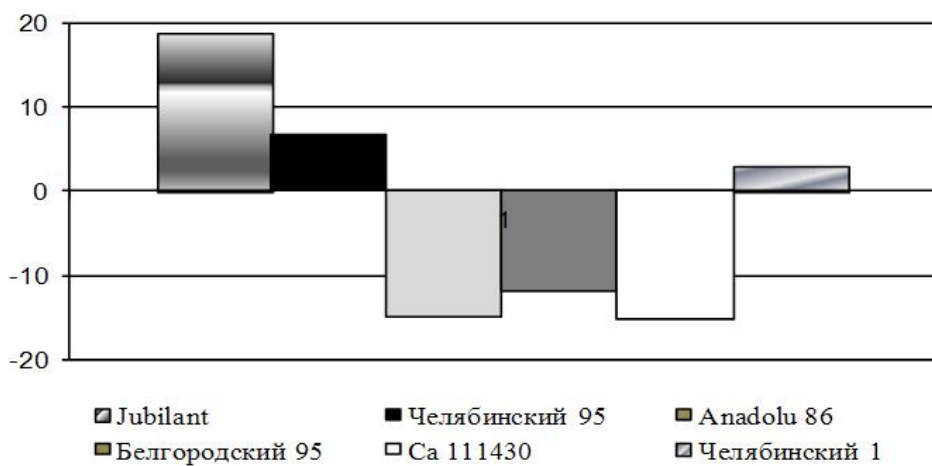
Образцы Karls II, Местный (к-4697), Мутант 11759 характеризовались снижением всех изученных признаков, что стало основанием для включения их в группу несолеустойчивых образцов.

Проявление всех морфологических признаков при засолении у сортов Ача (стандарт, Новосибирская обл.), Сталы (к-30212, Беларусь), Горинский (к-3081, Белгородская обл.), а также образца из Эфиопии (Л. АНОR2547/63) было минимальным, что позволяет сделать вывод о их низкой солеустойчивости. Семена образца Brenda (к-30464, Германия) в опытном варианте не образовали проростков, тогда как в контроле дали хорошие результаты (рис. 2).

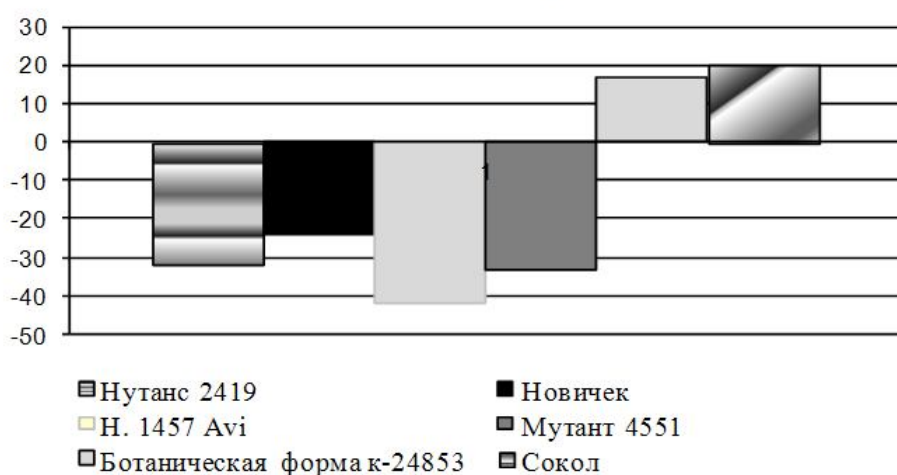
Следует обратить внимание на образец из России (Мутант 11764, к-30435, Воронежская обл.), Местный (к-14292) из Таджикистана и Зерноградский (к-30453, Ростовская обл.), у которых реакция на солевой стресс проявилась в виде увеличения количества зародышевых корней. Для образца из России (Мутант 11764) характерен небольшой процент снижения признаков длины побега и длины корней.

В структуре сырой биомассы на провокационном фоне наблюдалось преобладание массы корней по сравнению с контрольным вариантом при снижении доли побегов.

Анализ соотношения средних значений по коллекции абсолютно сухой массы корней и побегов у исследуемых образцов позволяет отметить, что в контрольном варианте побеги теряют массу сильнее, чем корни, что ведет к увеличению доли корней в сухой биомассе. В варианте с NaCl объемная доля корней в сухой биомассе уменьшается по сравнению с сырой, а побега соответственно увеличивается, что возможно связано с большим накоплением корнями влаги при засолении и активной ее потере при высыхании (рис. 3).



А. Количество корней

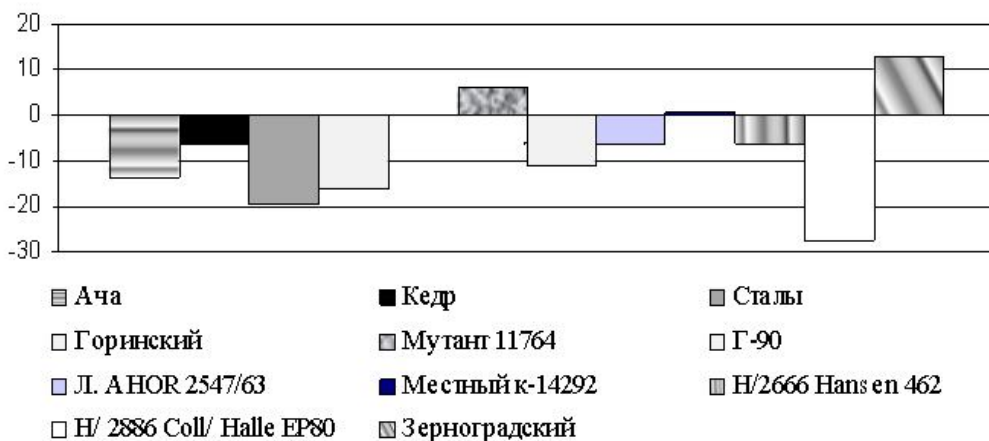


Б. Длина побега

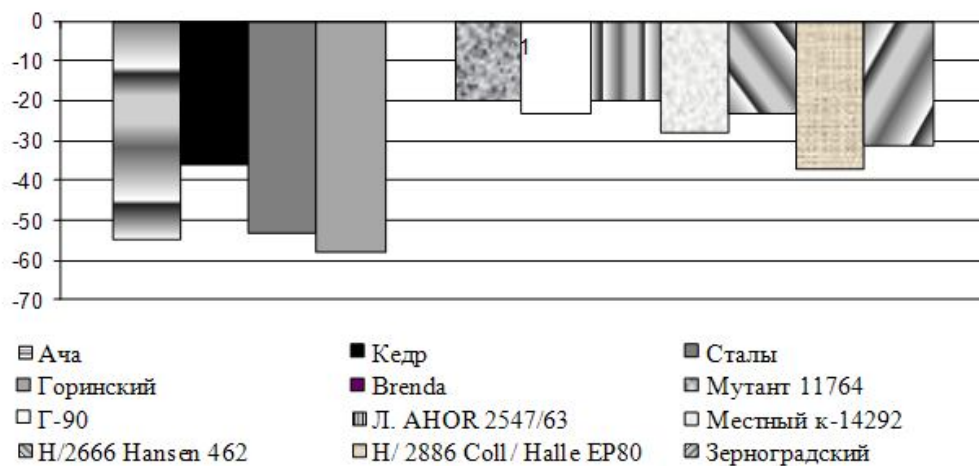
Рис. 1. Изменение морфологических признаков проростков в варианте с NaCl у солеустойчивых образцов ячменя (% по отношению к контролю).

На основании оценки по комплексу признаков, характеризующих способность семян к прорастанию, и морфометрических параметров проростков коллекция ячменя разделена на три группы: солеустойчивые (16 шт. или 30,2 %), чувствительные к засолению (25 шт. или 47,2 %) и несолеустойчивые (12 или 22, 6 %) образцы.

В группе солеустойчивых из 16 образцов основное большинство (11 образцов) относится к подвиду двурядного ячменя и пять к подвиду многорядного, преобладает разновидность *nutans* (табл. 2).



А. Количество корней



Б. Длина корней



В. Длина побега

Рис. 2. Изменение морфологических признаков проростков в варианте с NaCl у несолестойчивых образцов ячменя (% по отношению к контролю).

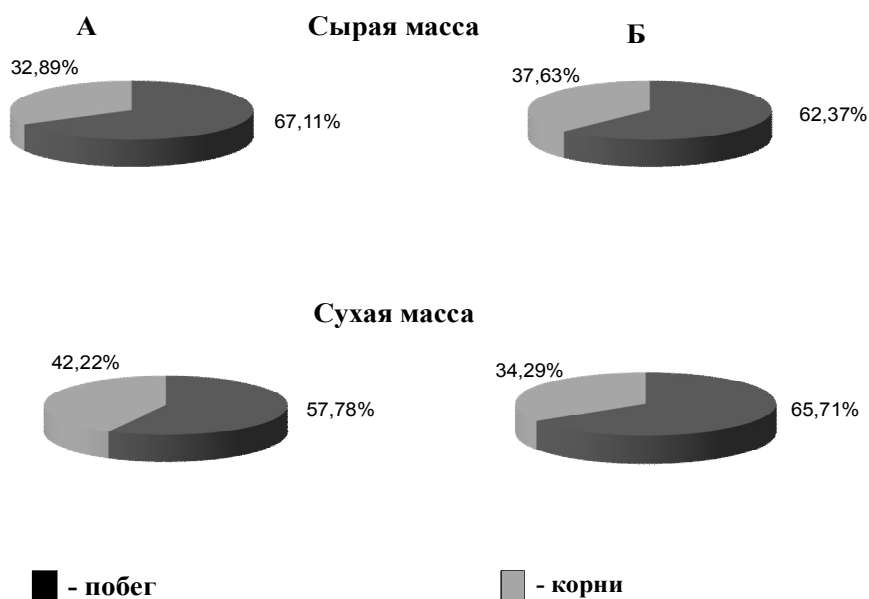


Рис. 3. Соотношение массы корней и побегов у исследуемых образцов ячменя в стандартных условиях и при засолении.

Таблица 2 – Характеристика устойчивых к засолению образцов ячменя

Образец, № по каталогу ВИР, происхождение	Подвид	Разновидность
Челябинский 1 (к-30819, Челябинская обл.)	двурядный	<i>nutans</i>
Нутанс 2419 (к-30536, Самарская обл.)	двурядный	<i>nutans</i>
Сокол (к-30827, Ростовская обл.)	двурядный	<i>nutans</i>
Новичок (к-30806, Кировская обл.)	двурядный	<i>nutans</i>
Зоряный (к-30496, Украина, Винницкая обл.)	двурядный	<i>nutans</i>
Ботаническая форма (к-24853, Германия)	двурядный	<i>tricrosus</i>
Мутант 4033 (к-20225, Германия)	двурядный	<i>medicum</i>
Annabel (к-30821, Германия)	двурядный	<i>nutans</i>
Са 111430 (к-3044, Дания)	двурядный	<i>nutans</i>
WW-7024 (к-30445, Швеция)	двурядный	<i>nutans</i>
Anadolu 86 (к-30319, Турция)	двурядный	<i>nutans</i>
к-19709 (Дания)	многорядный	<i>ibericum</i>
13662/8 (к-30429, Украина, Винницкая обл.)	многорядный	<i>ricotense</i>
Белгородский 95 (к-30449, Ленинградская обл.)	многорядный	<i>pallidum</i>
Л. АНОР 2553/66 (к-20045, Эфиопия)	многорядный	<i>griseinigrum</i>
Hause 563 (к-24811, Германия)	многорядный	<i>horsfordianum</i>

Выводы. 1. При проращивании семян ячменя на провокационном фоне (0,98%-ный раствор NaCl) наблюдалось угнетение ростовых процессов в раннем онтогенезе, что нашло отражение в снижении количественных признаков (длина и масса корней и побега). В условиях солевого стресса в структуре сырой биомассы проростков преобладала доля первичной корневой системы, в то же время при анализе абсолютно сухого вещества отмечалось увеличение доли побега.

2. Изученные образцы ячменя различались по способности семян к прорастанию в условиях засоления. Высокими показателями лабораторной всхожести характеризовались 15 образцов, из них 10 образцов зарубежного происхождения (Украина, Дания, Эфиопия, Германия, Пакистан, Финляндия) и 5 образцов – из регионов России (Челябинская обл., Самарская обл., Кировская обл., Ленинградская обл.). Образцы были представлены как двурядными (*viride*, *nutans*, *nigrinudum*), так и многорядными (*griseirdunerme*, *latiglumatum*, *pallidum*, *griseinigrum*, *ricotense*) формами.

3. Выявлена неоднозначная реакция образцов ячменя на воздействие засоления. Солеустойчивые образцы по проявлению признаков чаще были на уровне контроля, в некоторых случаях наблюдается эффект стимуляции ростовых процессов. У проростков не устойчивых к засолению образцов наблюдалось значительное отставание по всем изученным показателям (лабораторная всхожесть семян, морфометрические параметры и биомасса проростков).

4. Соотношение длины корней и побегов в контрольном и опытном вариантах отличалось большей стабильностью в группе солеустойчивых образцов и значительно варьировало у образцов с меньшей устойчивостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранова, Е.Н. Проблемы и перспективы генно-инженерного подхода в проблеме решений вопросов устойчивости растений к засолению / Е.Н. Баранова, А.А. Гулевич // Сельскохозяйственная биология. – 2006. – 1. – С. 39-52.
2. Физиология растений / Н.Д. Алехина, В.Ф. Гавриленко, Т.В. Жигалова и др. – М.: Академия, 2005. – 640 с.
3. Баташева, Б.А. Устойчивость растений ячменя к солевому стрессу / Б.А. Баташева, А.А. Альдеров // Сельскохозяйственная биология. – 2005. – №5. – С. 56-60.
4. Гузеева, С.А. Состояние солонцовых почв юга Тюменской области и аспекты их освоения: автореф. дис. на соискание уч. степени кандидата биологических наук / С.А. Гузеева. – Тюмень, 2007. – 14 с.
5. Емельянов, А.Г. Водобмен и стрессоустойчивость растений / А.Г. Емельянов, С.А. Алкуд. – Минск: Наука и техника, 1992. – 143 с.
6. Говорухина, А.А. Адаптивный потенциал ячменя в условиях северной лесостепи Тюменской области / А.А. Говорухина. – Екатеринбург: Тюменский государственный университет, 1998. – 19 с.
7. Оценка коллекционных образцов овса (*Avena L.*) по реакции на солевой стресс / А.Я. Боме, Н.А. Боме, А.О. Станиславчик, И.Г. Лоскутов // Биоразнообразие растений, микроорганизмов и методы их изучения. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2008. – С. 25-31.
8. Боме, Н.А. Создание эколого-генетической модели количественных признаков по реакции растений на биотические и абиотические стрессы / Н.А. Боме [и др.] // Окружающая среда и менеджмент природных ресурсов: Тезисы докладов Международной конференции, г. Тюмень, 11-13 октября 2010 г. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2010. – С. 54-56.
9. Боме, А.А. Исследование генофонда *Triticum aestivum L.* по реакции растений на пониженные температуры / А.А. Боме // Естественные и технические науки. – Изд-во Спутник+. – №1(57). – 2012. – С. 117-121.
10. Изучение адаптивных продуктивных свойств растений *Triticum aestivum L.* при недостатке влаги / Н.А. Боме, Т.Ф. Ушакова, А.А. Боме, Е.В. Зуев // Окружающая среда и менеджмент природных ресурсов: Тезисы докладов V Международной конференции, г. Тюмень, 1-3 октября 2014 г. / под ред. А.В. Соромогина, А.В. Толстикова. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2014. – С. 43-45.
11. Полевой, В.В. Практикум по росту и устойчивости растений / В.В. Полевой, Т.В. Чиркова, Л.А. Лутова. – СПб: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2001. – 212 с.
12. Лакин, Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 295 с.

REFERENCES

1. Baranova, E.N. Problemy i perspektivy genno-inženernogo podhoda v probleme rešenij voprosov ustojčivosti rastenij k zasoleniju / E.N. Baranova, A.A. Gulevič // Sel'skohozjajstvennaja biologija. – 2006. – 1. – S. 39-52.
2. Fiziologija rastenij / N.D. Alehina, V.F. Gavrilenko, T.V. Žigalova i dr. – M.: Akademiâ, 2005. – 640 s.
3. Bataševa, V.A. Ustojčivost' rastenij jačmenâ k solevomu stressu / V.A. Bataševa, A.A. Al'derov // Sel'skohozjajstvennaja biologija. – 2005. – №5. – S. 56-60.
4. Guzeeva, S.A. Sostoânie soloncovyh počv ŭga Tûmenskoj oblasti i aspekty ih osvoeniâ: avtoref. dis. na soiskanie uch. stepeni kandidata biologičeskikh nauk / S.A. Guzeeva. – Tûmen', 2007. – 14 s.
5. Emel'ânov, A.G. Vodoobmen i stressoustojčivost' rastenij / A.G. Emel'ânov, S.A. Alkud. – Minsk: Nauka i tehnika, 1992. – 143 s.
6. Govoruhina, A.A. Adaptivnyj potencial jačmenâ v usloviâh severnoj lesostepi Tûmenskoj oblasti / A.A. Govoruhina. – Ekaterinburg: Tûmenskij gosudarstvennyj universitet, 1998. – 19 s.
7. Ocenka kollekcionnyh obrazcov ovsa (*Avena L.*) po reakcii na solevoj stress / A.Â. Bome, N.A. Bome, A.O. Stanislavčik, I.G. Loskutov // Bioraznoobrazie rastenij, mikroorganizmov i metody ih izučeniâ. – Tûmen': Izdatel'stvo Tûmenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2008. – S. 25-31.
8. Bome, N.A. Sozdanie êkologo-genetičeskoj modeli količestvennyh priznakov po reakcii rastenij na biotičeskie i abiotičeskie stressy / N.A. Bome [i dr.] // Okružajušââ sreda i menedžment prirodnyh resursov: Tezisy dokladov Meždunarodnoj konferencii, g. Tûmen', 11-13 oktâbrâ 2010 g. – Tûmen': Izdatel'stvo Tûmenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2010. – S. 54-56.
9. Bome, A.Â. Issledovanie genofonda *Triticum aestivum L.* po reakcii rastenij na ponižennye temperatury / A.Â. Bome // Estestvennye i tehničeskie nauki. – Izd-vo Sputnik+. – №1 (57). – 2012. – S. 117-121.
10. Izučenie adaptivnyh produktivnyh svojstv rastenij *Triticum aestivum L.* pri nedostatke vlagi / N.A. Bome, T.F. Ušakova, A.Â. Bome, E.V. Zuev // Okružajušââ sreda i menedžment prirodnyh resursov: Tezisy dokladov V Meždunarodnoj konferencii, g. Tûmen', 1-3 oktâbrâ 2014 g. / Pod red. A.V. Soromotina, A.V. Tolstikova. – Tûmen': Izdatel'stvo Tûmenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2014. – S. 43-45.
11. Polevoj, V.V. Praktikum po rostu i ustojčivosti rastenij / V.V. Polevoj, T.V. Čirkova, L.A. Lutova. – SPb: Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo universiteta, 2001. – 212 s.
12. Lakin, G.F. Biometriâ / G.F. Lakin. – M.: Vysšââ škola, 1990. – 295 s.

Внутрішньовидова різноманітність ячменю культурного (*Hordeum vulgare L.*) за стійкістю до хлоридного засолення Н.А. Боме

Представлені результати оцінки 53 зразків ячменю зі світової колекції ВНДІ рослинництва ім. Н.І. Вавилова до хлоридного засолення в модельованих умовах. Показана ефективність відбору форм ячменю щодо стійкості до сольового стресу за комплексом ознак, що характеризують здатність насіння до проростання та формування біомаси проростків на провокаційному фоні. Стійкі до засолення 16 зразків ячменю були з п'яти регіонів Російської Федерації і шести зарубіжних країн, належали до двох підвидів і восьми ботанічних різновидів.

Ключові слова: засолення, стійкість, ячмінь, морфометричні параметри, проросток, зразок.

Надійшла 11.11.2014 р.