

Алюмоустойчивость пивоваренного ячменя

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-126-131

УДК 633.162:58.051

Поступление/Received: 08.04.2021

Принято/Accepted: 19.08.2021



О. В. ЯКОВЛЕВА

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
✉ oly.yakovleva@mail.ru

Aluminum resistance of malting barley

O. V. YAKOVLEVA

N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
✉ oly.yakovleva@mail.ru

Актуальность. Ячмень является второй по значимости и объемам производства зерновой культурой в России, которая используется в пищевых, кормовых и технических целях. Производство пивоваренного ячменя в нашей стране составляет более 1,5 млн т; каждый год площади посевов увеличиваются на 10–15% и достигают до 600–800 тыс. га. Ячмень, пригодный для пивоварения, должен иметь определенные физико-химические и технологические свойства. Основные требования, предъявляемые к сырью, представлены в ГОСТ 5060-86 «Ячмень пивоваренный». Важным условием получения устойчивых урожаев является создание и использование сортов, устойчивых к комплексу эдафических стрессоров. Цель работы – поиск устойчивых сортов для использования в направленной селекции.

Материалы и методы. Материалом для исследования служил 161 сорт ярового ячменя пивоваренного направления из коллекции генетических ресурсов растений ВИР. Лабораторную оценку алюмотолерантности образцов ячменя проводили на начальных фазах роста и развития с использованием метода расчета индексов длины корня и ростка.

Результаты и выводы. Среди пивоваренных ячменей из различных эколого-географических групп выделены сорта, устойчивые к ионам Al^{3+} . Изменчивость признака как по индексу длины корня (0,17–0,95), так и по индексу длины ростка (0,47–0,99) имеет широкий диапазон. Сорта с высокой устойчивостью к ионному (Al^{3+}) стрессу могут быть использованы в селекции высокопродуктивных и наиболее адаптированных к вредным факторам окружающей среды сортов пивоваренного ячменя.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., токсичные ионы алюминия, засухоустойчивость, алюмотоксичность.

Background. Barley is the second cereal crop in Russia in terms of its importance and production volume. It is used for food, feed, and industrial purposes. The production of malting barley in Russia exceeds 1.5 million tons; each year the area under this crop increases by 10–15%, reaching 600,000–800,000 hectares. Barleys suitable for brewing must have certain physicochemical and technological properties. The main requirements for raw materials are presented in GOST 5060-86 (state standard for malting barley). An important condition for obtaining sustainable harvests is the development and utilization of cultivars resistant to a set of edaphic stressors. The purpose of this work was searching for resistant cultivars for use in targeted breeding.

Materials and methods. The material for the study included 161 spring barley cultivars for brewing from the collection of plant genetic resources held by VIR. The laboratory assessment of aluminum tolerance in barley accessions was carried out at the initial phases of plant growth and development, using the method of calculating root and shoot length indices. The tested malting barley was classified into five resistance groups.

Results and conclusions. Cultivars resistant to Al^{3+} ions were identified among different ecogeographic groups of malting barleys. The trait had a wide range of variability in terms of both the root length index (0.17–0.95) and shoot length index (0.47–0.99). Accessions with high resistance to ionic (Al^{3+}) stress can be used in barley breeding targeted at the development of high-yielding malting cultivars most adapted to harmful environmental factors.

Key words: *Hordeum vulgare* L., toxic aluminum ions, drought resistance, aluminum toxicity.

Введение

Ячмень – вторая по значимости и объемам производства зерновая культура в России, которая используется в пищевых, кормовых и технических целях. Зерно ячменя содержит в среднем 65–68% углеводов, 8–16% белка, 2–5% жира и 2–3% минеральных веществ (Meledina, 2003). Производство пива и пивных напитков в России в 2020 г. выросло на 3,3% по сравнению с 2019 г. и составило 795 млн дал (Russian market..., 2020).

Производство пивоваренного ячменя в нашей стране составляет более 1,5 млн т; каждый год площади посевов

увеличиваются на 10–15% и достигают до 600–800 тыс. га. Ячмень, пригодный для пивоварения, должен иметь определенные физико-химические и технологические свойства (Belokurova, 2019; Belokurova et al., 2015; Dontsova et al., 2016).

Основные требования, предъявляемые к пивоваренному ячменю при производстве и поставках сырья, представлены в ГОСТ 5060-86 «Ячмень пивоваренный» (ГОСТ 5060-86..., 2010). Цвет, форма, крупность зерновки, пониженная пленчатость и оптимальная влажность зерна являются первичными признаками при оценке пивоваренного ячменя. Химические показатели зерна ячменя для производства пива регламентируются ГОСТ 29294-2014

(GOST 29294-2014..., 2016) на солод пивоваренный. Наиболее важными считаются содержание белка и экстрактивность. При оценке зернового материала несоответствие каких-либо показателей установленным требованиям снижает категорию сырья до кормового использования.

В пивоварении в основном используется зерно двурядного ячменя, выровненное, с низкой пленчатостью и мучнистым эндоспермом. Ячмень рекомендуется возделывать в зонах умеренно континентального климата со среднегодовым количеством атмосферных осадков от 450 до 650 мм и суммой активных температур (более 10°C) 1600–4000 градусов.

Высококачественный пивоваренный ячмень можно вырастить на дерново-подзолистых, дерново-карбонатных, серых лесных почвах и черноземах. Более пригодными считаются среднетяжелые, суглинистые, суглинисто-песчаные по механическому составу почвы с достаточным количеством легкоусвояемых питательных веществ. Легкие песчаные и супесчаные почвы с высокой водопроницаемостью и пониженным естественным плодородием, заболоченные почвы с близким расположением грунтовых вод, торфяники и кислые почвы с низким pH раствора не пригодны для выращивания ячменя на пиво. На тяжелых глинистых почвах при образовании почвенной корки затрудняется прорастание семян, нарушается воздухообмен, угнетается развитие корневой системы ячменя (Gluhovtsev, Drovalyeva, 2011; Romanova et al., 2014).

При возделывании пивоваренного ячменя необходимо учитывать агрохимические показатели почв. Почвы с благоприятным водно-воздушным режимом, с $pH_{KCl} = 6,0–7,5$, содержанием гумуса в пахотном горизонте 2,0–3,0% и более, подвижными элементами P_2O_5 и K_2O больше 100–150 мг/кг считаются самыми лучшими для посевов ячменя. Снижение качества продукции при повышенной кислотности и высоком содержании токсичных ионов Al^{3+} в почве изменяет категорию ячменного сырья.

Соблюдение агротехники возделывания культуры, известкование кислых почв и оптимальный подбор сортов должны способствовать получению высоких урожаев ячменя с улучшенными пивоваренными качествами (Belyankina, 2007; Titova, Vnukova, 2008; Ermilov, 2019).

Пригодность разных типов почв для выращивания пивоваренного ячменя зависит от количества осадков, водного режима, водообеспеченности и водопроницаемости почвы. Весенне-летние засухи, в особенности с недостатком влаги в конце вегетационного периода, отри-

цательно влияют на развитие растений, снижая урожайность и технологические свойства зерновой продукции. В основных районах выращивания пивоваренного ячменя, где лимитирующим фактором являются высокие температуры воздуха и небольшое количество осадков, необходимо использовать засухоустойчивые сорта.

Площади кислых почв в рекомендованных регионах возделывания ячменя постоянно увеличиваются, особенно они распространены в Нечерноземной зоне и Приморском крае. В кислых почвах с высоким содержанием неорганических веществ главным фактором, ограничивающим нормальное развитие растений, является фитотоксичность ионов Al^{3+} (Yakovleva, 2018). Решение этой проблемы – создание продуктивных сортов с высокой адаптивностью и комплексной устойчивостью к неблагоприятным факторам среды.

Целью нашего исследования была оценка алюмоустойчивости пивоваренных сортов для использования в направленной селекции ячменя.

Материалы и методы

Образцы пивоваренного ячменя отечественной и зарубежной селекции подобраны по географическому происхождению; многие из них были включены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации в разные годы. Так, на 2020 г. было включено 229 сортов ярового ячменя, среди которых 57 считаются пивоваренными, а 27 являются пивоваренными и ценными по качеству (State Register..., 2020).

Устойчивость к токсичным ионам алюминия (Al^{3+}) тестировали у 161 образца ярового ячменя *Hordeum vulgare* L. пивоваренного направления из коллекции генетических ресурсов растений ВИР (табл. 1). Для выращивания пивоваренного ячменя в соответствии с ГОСТ 5060-86 в России определены следующие регионы: Северо-Западный, Центральный, Центральнo-Черноземный, Средне- и Нижневолжский, Дальневосточный. Изучаемые нами образцы ячменя относятся именно к этим российским регионам, а также к странам ближнего и дальнего зарубежья.

Алюмоустойчивость образцов ячменя определяли на ранних этапах развития растений методом расчета индексов длины корня и ростка (Yakovleva et al., 2009). В течение двух суток в термостате, без освещения, при $t = 24–25^{\circ}C$ семена изучаемых образцов проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге в дистиллированной воде. Затем в растильни с сетчатым дном, разделенные

Таблица 1. Происхождение исследуемых образцов ячменя

Table 1. Origin of the studied barley accessions

Страна, регион	Изучено-образцов
Россия:	
Северо-Западный, Центральный, Центральнo-Черноземный,	27
Волго-Вятский, Средне- и Нижневолжский, Северо-Кавказский,	15
Уральский, Западно- и Восточно-Сибирский, Дальневосточный	12
Страны Балтии, Белоруссия, Украина, Казахстан	23
Западная Европа	80
США, Австралия	4
Всего:	161

на яечки, раскладывали по 25–30 равномерно проросших семян каждого образца. Растильни помещали в пластмассовые контейнеры с дистиллированной водой (объем 9 литров, pH = 6,5). На уровне растений поддерживался определенный температурный ($t = 20\text{--}22^\circ\text{C}$) и световой режим (освещенность 5 кЛк / 16 ч). Растильни накрывали полиэтиленовой пленкой, которую снимали на третьи сутки. Затем воду в контейнерах меняли на водный раствор с содержанием ионов Al^{3+} 185 мкМ и pH = 4,0. Для приготовления раствора использовали хлорид алюминия шестиводный – ($\text{AlCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$). В качестве контроля использовали дистиллированную воду с pH = 6,5 без ионов Al^{3+} . Измерение pH растворов проводили каждые сутки и при необходимости доводили до соответствующего значения 0,25 М раствором серной кислоты или 1 N раствором щелочи. Дополнительно в каждую растильню закладывали сорта-тестеры с известной устойчивостью: ‘Московский 121’ (к-19417, ИДК 0,63) и ‘Полярный 14’ (к-15619, ИДК 0,76). На седьмые сутки после воздействия алюминия одновременно измеряли длину зародышевых корней и ростка. По окончании эксперимента проводили математическую обработку полученных данных. В каждом варианте опыта рассчитывали среднее арифметическое длины корня и ростка. Затем для каждого образца определяли индекс длины корня (ИДК), равный соотношению средней длины корня в опыте [А] к средней длине корня в контроле [В]: $\text{ИДК} = \text{А} / \text{В}$. Подобным образом определяли и индекс длины ростка (ИДР).

На основании полученных значений ИДК и ИДР образцы ячменя распределили на пять групп устойчивости к ионам Al^{3+} (Yakovleva, Kovaleva, 2015). Шкала устойчивости представлена таким образом:

- 1 – ИД > 0,81 – высокоустойчивые;
- 2 – ИД 0,61–0,80 – устойчивые;
- 3 – ИД 0,41–0,60 – среднеустойчивые;
- 4 – ИД 0,31–0,40 – среднечувствительные;
- 5 – ИД < 0,30 – неустойчивые.

Результаты и обсуждение

Среди 161 сорта пивоваренного ячменя, относящегося к разным эколого-географическим группам, выделены образцы, устойчивые к ионам алюминия. Выявлен большой диапазон изменчивости признака как по индексу длины корня (0,17–0,95), так и по индексу длины ростка (0,47–0,99).

После распределения образцов по группам устойчивости выделено две относящиеся к пятой группе, неустойчивые к стрессу формы (1,4% от общего числа изученных) (табл. 2). К токсичным ионам алюминия (ИДК > 0,81) были высокоустойчивы 19 образцов ячменя (11,6%). Наиболее устойчив (ИДК 0,95) образец к-31241 (‘Quench’, Дания), его корни почти не реагировали на воздействие тестирующей концентрации 185 мкМ Al^{3+} .

Западноевропейские ячмени представлены в основном сортами из Германии (31), Чехии (14) и Франции (16 сортов). Эти страны традиционно занимаются селекцией пивоваренных ячменей и производством пива. Высокими пивоваренными качествами отличаются чешские и немецкие сорта ячменя.

По уровню устойчивости к подвижным ионам Al^{3+} наибольшие различия отмечены нами именно у чешских ячменей. Индекс длины корня этих образцов колебался в пределах 0,39–0,98, индекс длины ростка – 0,63–0,99. Самые большие корневые индексы были у сортов ‘Дитта’

Таблица 2. Распределение ячменя по группам устойчивости

Table 2. Distribution of barley accessions among resistance groups

Группа устойчивости	Частота образцов, %
значение индекса длины корня	
1	11,6 ± 1,76
2	42,4 ± 0,97
3	31,5 ± 1,03
4	13,0 ± 1,97
5	1,4 ± 1,15
значение индекса длины ростка	
1	84,4 ± 2,73
2	12,3 ± 1,21
3	3,2 ± 0,75
4	–
5	–

(к-30938), ‘Толар’ (к-30929) и ‘Nordus’ (к-30941), которые отнесены к группе высокоустойчивых образцов (табл. 3).

Дополнительно было изучено варьирование размеров ростка при концентрации 185 мкМ Al^{3+} . Полученный индекс позволил распределить образцы на три группы (см. табл. 2). Более 80% образцов относятся к первой группе самых устойчивых. На стрессовом фоне с подвижным алюминием развитие ростка этих форм почти не отличалось от развития ростка в контроле.

У 16 сортов пивоваренного ячменя отмечена высокая степень устойчивости по показателям длины корня и ростка (см. табл. 3). К ним относятся сорта из Московской области ‘Раушан’ (к-30592) и ‘Владимир’ (к-30981), ‘Луч’ (к-21789, Кировская область), ‘Красноярский 80’ (к-27102, Красноярский край), ‘Приморский 98’ (к-30778, Приморский край) и другие. Среди зарубежных сортов можно отметить ‘Quench’ (к-30973, Дания), ‘Xanadu’ (к-30973, Германия), ‘Марни’ (к-31044, Германия), ‘Nordus’ (к-30941, Чехия).

Основные площади посевов пивоваренного ячменя в нашей стране расположены в зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения. В каждой климатической зоне наблюдаются свои особенности распределения осадков в течение вегетации (Yakovlev et al., 2017). Так, в засушливых условиях Центрально-Черноземной зоны необходимо накопление максимального количества влаги в начале вегетационного периода (Filippov et al., 2016). В Средневолжском и Нижневолжском регионах наблюдаются устойчивые летние засухи, угнетающие рост и развитие растений.

Для получения ячменя с хорошими пивоваренными качествами важна не только обеспеченность влагой в определенные фазы онтогенеза, большое значение имеют тип и подтип почвы под посевами, наблюдение агротехники возделывания культуры (Titova et al., 2008). Решением проблемы может стать использование засухо-

Таблица 3. Устойчивость пивоваренного ячменя к токсичным ионам алюминия**Table 3. Resistance of malting barley to toxic aluminum ions**

№ по каталогу ВИР	Сорт	Происхождение	Индекс длины	
			корня	ростка
30591	Рахат	Россия, Московская обл.	0,75	0,98
30592	Раушан	"	0,85	0,90
30803	Михайловский	"	0,76	0,88
30820	Нур	"	0,97	0,71
30981	Владимир	"	0,88	0,91
21789	Луч	Россия, Кировская обл.	0,88	0,92
30982	Велес	Россия, Белгородская обл.	0,79	0,81
30242	Скиф	Россия, Самарская обл.	0,68	0,88
29902	Зерноградский 344	Россия, Ростовская обл.	0,73	0,86
30918	Омский 91	Россия, Омская обл.	0,65	0,95
27102	Красноярский 80	Россия, Красноярский край	0,82	0,94
30778	Приморский 98	Россия, Приморский край	0,98	0,94
31173	Талер	Беларусь	0,81	0,99
31326	Радимич	"	0,65	0,97
30965	Гетьман	Украина	0,84	0,93
31241	Quench	Дания	0,95	0,92
27417	Dera	Германия	0,82	0,94
30973	Xanadu	"	0,93	0,91
31044	Марни	"	0,92	0,92
31322	Stratus	Польша	0,69	0,99
27346	Rubin	Чехия	0,84	0,92
30929	Tolar	"	0,88	0,93
30931	Prestige	"	0,82	0,95
30938	Ditta	"	0,87	0,96
30941	Nordus	"	0,98	0,93
31278	Себастьян	"	0,72	0,94

устойчивых сортов пивоваренного ячменя. Сочетание устойчивости к токсичным ионам алюминия и засухе весьма актуально для отдельных регионов выращивания ячменя (Eroshenko, 2009).

Исследования засухоустойчивости ячменя проводятся в различных климатических зонах в полевых и лабораторных условиях, при этом выделяют образцы с различным уровнем устойчивости (Kazakova, Gaydash, 2007; Filippov et al., 2013; Filippov, Dontsova, 2016; Pakul et al., 2016; Cai et al., 2020).

Высокая засухоустойчивость отмечена у сортов ячменя отечественной селекции: 'Скиф' (к-30242), 'Волгарь'

(к-29831), 'Зерноградский 344' (к-29902), 'Приазовский 9' (к-30595), а также 'Талер' (к-31173, Беларусь), 'Одесский 115' (к-26864, Украина) и 'Носовский 9' (к-20470, Украина) (Mousalitin et al., 2016; State Register..., 2020). Сорта зарубежной селекции из Германии 'Xanadu' (к-30973) и 'Messina' (к-30967), 'Quench' (к-30973, Дания), 'Stratus' (к-31322, Польша) считаются высокоустойчивыми к действию засухи.

Нами выделены сорта пивоваренного ячменя 'Quench' (к-30973, Дания) и 'Xanadu' (к-30973, Германия), сочетающие высокую устойчивость к засухе и токсичным ионам Al^{3+} .

Заключение

Весь изученный нами сортимент пивоваренных ячменей различался большим разнообразием по уровню алюмоустойчивости. С использованием лабораторных методов тестирования выделены образцы с различной реакцией корней и ростка на ионный стресс в ювенильной фазе развития растений. Генотипы с высокой устойчивостью к ионному (Al^{3+}) стрессу могут быть использованы в селекции высокопродуктивных и наиболее адаптированных к вредным факторам окружающей среды сортов пивоваренного ячменя.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2020-0006 "Search for and viability maintenance, and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production".

References / Литература

- Belokurova E.S. Malting barley (Yachmen pivovarenny). St. Petersburg: Lan; 2019. [in Russian] (Белокурова Е.С. Ячмень пивоваренный. Санкт-Петербург: Лань; 2019).
- Belokurova E.S., Borisova L.M., Pankina I.A. The methodology for determining the activity of malting barley germination. *Scientific Journal NRU ITMO. Series: Processes and Food Production Equipment*. 2015;2:18-23. [in Russian] (Белокурова Е.С., Борисова Л.М., Панкина И.А. Методология определения активности прорастания ячменя пивоваренного. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*. 2015;2:18-23).
- Belyankina N.G., Datsyuk P.V., Semenova E.I. Formation and development of the malting barley market (Formirovaniye i razvitiye rynka pivovarennogo yachmenya). Moscow: RAKO; 2007. [in Russian] (Белянкина Н.Г., Дацюк П.В., Семенова Е.И. Формирование и развитие рынка пивоваренного ячменя. Москва: РАКО; 2007).
- Cai K., Chen X., Han Z., Wu X., Zhang S., Li Q. et al. Screening of worldwide barley collection for drought tolerance: the assessment of various physiological measures as the selection criteria. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:1159. DOI: 10.3389/fpls.2020.01159
- Dontsova A.A., Filippov E.G., Dontsov D.P., Ternovaya E.A. Barley production in Russia and in the world. *Grain Economy of Russia*. 2016;(6):7-13. [in Russian] (Донцова А.А., Филиппов Е.Г., Донцов Д.П., Терновская Е.А. Производство ячменя в мире и России. *Зерновое хозяйство России*. 2016;(6):7-13).
- Ermilov Yu.V. Features of malting barley cultivation technology (Osobennosti tekhnologii vozdevlyvaniya pivovarennogo yachmenya). *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya = Science and Education Development Trends*. 2019;47(4):61-64. [in Russian] (Ермилов Ю.В. Особенности технологии возделывания пивоваренного ячменя. *Тенденции развития науки и образования*. 2019;47(4):61-64).
- Eroshenko L.M. Selection of spring barley in Central Non-Black Earth soil surrounding of Russia. *Agrarian Reporter of South-East*. 2009;3(3):41-44. [in Russian] (Ерошенко Л.М. Селекция ярового ячменя в условиях Центрального Нечерноземья России. *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2009;3(3):41-44).
- Filippov E.G., Dontsova A.A. Peculiarities of barley breeding on Don. *Grain Economy of Russia*. 2016;(1):47-52. [in Russian] (Филиппов Е.Г., Донцова А.А. Особенности селекции ячменя на Дону. *Зерновое хозяйство России*. 2016;1:47-52).
- Filippov E.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P. New drought resistant varieties of spring barley. *Grain Economy of Russia*. 2013;(5):43-45. [in Russian] (Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П. Новые засухоустойчивые сорта ярового ячменя. *Зерновое хозяйство России*. 2013;(5):43-45).
- Gluhovtsev V.V., Drovalyeva N.V. Features of formation protein and its amino acid composition in summer barley grains depending on weather conditions in the Middle Volga region. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2011;6(2):120-123. [in Russian] (Глуховцев В.В., Дровальева Н.В. Особенности формирования белка и его аминокислотного состава в зерне ярового ячменя в зависимости от погодных условий в Среднем Поволжье. *Вестник Казанского ГАУ*. 2011;6(2):120-123).
- GOST 29294-2014. Interstate standard. Brewing malt. General specifications. Moscow: Standartinform; 2016. [in Russian] (ГОСТ 29294-2014. Межгосударственный стандарт. Солод пивоваренный. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2016). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200114253> [дата обращения: 28.01.2021].
- GOST 5060-86. Interstate standard. Barley for brewing. Specifications. Moscow: Standartinform; 2010. [in Russian] (ГОСТ 5060-86. Межгосударственный стандарт. Ячмень пивоваренный. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2010). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023680> [дата обращения: 27.01.2021].
- Kazakova A.S., Gaydash M.V. A method for selection of drought-resistant forms of barley (Sposob otbora zasukhoustoichivyykh form yachmenya). Russian Federation; patent number: RU 2302727 C2; 2007. [in Russian] (Казакова А.С., Гайдаш М.В. Способ отбора засухоустойчивых форм ячменя. Российская Федерация; патент № RU 2302727 C2; 2007). URL: <http://www.freepatent.ru/images/patents/165/2302727/patent-2302727.pdf> [дата обращения: 11.11.2020].
- Meledina T.V. Raw materials and auxiliary materials in brewing (Syrye i vspomogatelnye materialy v pivovarenii). St. Petersburg: Professiya; 2003. [in Russian] (Меледина Т.В. Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении. Санкт-Петербург: Профессия; 2003).
- Mousalitin G.M., Boradoulina V.A., Kouzikhev Z.V. Study of barley source material in the environments of Altai Territory. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2016;177(2):47-54. [in Russian] (Мусалитин Г.М., Борадулина В.А., Кузикеж З.В. Изучение исходного материала ячменя в условиях Алтайского края. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2016;177(2):47-54). DOI: 10.30901/2227-8834-2016-2-47-54
- Pakul V.N., Martynova S.V., Androsov D.E. Sources of summer barley on drought resistance in the conditions the forest-steppe of Western Siberia. *International Research Journal*. 2016;2(44):102-106. [in Russian] (Пакуль В.Н., Мартынова С.В., Андросов Д.Е. Источники ярового

- ячменя по засухоустойчивости в условиях лесостепи Западной Сибири. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016;2(44):102-106. DOI: 10.18454/IRJ.2016.44.119
- Romanova I.N., Terentyev S.E., Knyazeva S.M., Glushakov S.N., Perepechay M.I. Productivity and grain quality of spring barley varieties and their applicability for brewing under conditions of the western part of the Nonblack Soil Zone. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2014;(11):27-30. [in Russian] (Романова И.Н., Терентьев С.Е., Князева С.М., Глушаков С.Н., Перепицай М.И. Урожайность и качество зерна сортов ярового ячменя, а также его пригодность на пивоваренные цели в условиях западной части Нечерноземья. *Достижения науки и техники АПК*. 2014;(11):27-30).
- Russian market of beer, malt and barley (Rossiyskiy rynok piva, soloda i yachmenya). Issue 2(4). Grainford LLC; 2020. [in Russian] (Российский рынок пива, солода и ячменя. Выпуск 2(4). ООО «Грейнфорд». 2020). URL: <https://www.beer-life.ru/gynok-piva-soloda-i-yachmenya-v-1-kv-2020.pdf> [дата обращения: 04.02.2021].
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1. "Plant varieties" (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2020. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформарпотех; 2020). URL: https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2020/03/FIN_reestr_dop_12_03_2020.pdf [дата обращения: 27.01.2021].
- Titova E.M., Vnukova M.A. Productivity and quality of malting barley varieties (Produktivnost i kachestvo sortov pivovarennogoya yachmenya). *Vestnik OrelGAU = Bulletin of Orel State Agrarian University*. 2008;3(12):5-8. [in Russian] (Титова Е.М., Внукова М.А. Продуктивность и качество сортов пивоваренного ячменя. *Вестник ОрелГАУ*. 2008;3(12):5-8).
- Yakovlev V.K., Pershakov A.Yu., Belkina R.I. Productivity and grain quality of malting barley in Northern Trans-Urals. *The Bulletin of KrasGAU*. 2017;12(135):10-15. [in Russian] (Яковлев В.К., Першаков А.Ю., Белкина Р.И. Продуктивность и качество зерна пивоваренных сортов ячменя в Северном Зауралье. *Вестник КрасГАУ*. 2017;12(135):10-15).
- Yakovleva O.V. Phytotoxicity of aluminum ions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):315-331. [in Russian] (Яковлева О.В. Фитотоксичность ионов алюминия. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):315-331). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-315-331
- Yakovleva O.V., Kapeshinskiy A.M., Kovaleva O.N. Aluminium toxic ions tolerance in cultivated and wild barley. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2009;165:51-54. [in Russian] (Яковлева О.В., Капешинский А.М., Ковалева О.Н. Устойчивость культурного и дикого ячменя к действию токсичных ионов алюминия. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009;165:51-54).
- Yakovleva O.V., Kovaleva O.N. Catalogue of the VIR global collection. Issue 824. Barley. Characteristics of barley samples for resistance to toxic aluminum ions (H^+ + Al^{3+}). St. Petersburg: VIR; 2015. [in Russian] (Яковлева О.В., Ковалева О.Н. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 824. Ячмень. Характеристика образцов ячменя по устойчивости к токсичным ионам алюминия (H^+ + Al^{3+}). Санкт-Петербург: ВИР; 2015).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The author declares the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Яковлева О.В. Алюмоустойчивость пивоваренного ячменя. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(4):126-131. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-126-131

Yakovleva O.V. Aluminum resistance of malting barley. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):126-131. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-126-131

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-126-131>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Автор одобрил рукопись / The author approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Yakovleva O.V. <https://orcid.org/0000-0002-6537-0868>