УДК 633.13:631 524.01 (571.12)
Код ВАК 4.1.2
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1896-1907

Сортовая реакция ячменя на хлоридное засоление: значение для селекции и производства

Д. И. Еремин✉, **В. В. Сахарова, А. В. Любимова**
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», п. Московский, Тюменская область, Россия
✉*E-mail: soil-tyumen@yandex.ru*

Аннотация. **Цель** работы – определение генотипов ярового ячменя, обладающих контрастной реакцией на хлоридно-натриевое засоление и перспективных для разработки биохимических маркеров, используемых на ранних этапах селекции. **Методы.** В коллекции современных сортов ячменя и перспективных селекционных линий были определены физиологические показатели на ранних этапах прорастания зерна (до 7 суток): энергия прорастания, лабораторная всхожесть, индекс скорости прорастания, воздушно-сухая биомасса проростков, индекс длины корней. Семена ячменя были собраны из высеянной коллекции в 2023 и 2024 гг. **Научная новизна.** Впервые была изучена реакция районированных в Тюменской области сортов и ценных селекционных линий ячменя на возрастающий уровень хлоридно-натриевого засоления и определены генотипы, обладающие контрастной реакцией на засоление. **Результаты.** Установлено, что концентрация хлорида натрия 5 г/л обеспечивает достоверное выявление устойчивых и восприимчивых генотипов овса на ранних этапах онтогенеза. Все изучаемые показатели, за исключением индекса прорастания, имеют сильную отрицательную корреляцию с количеством баллов солеустойчивости ($r > 0,7$), что дает возможность достоверной оценки генотипов по минимальному количеству признаков. При концентрации 5 г/л энергия прорастания и лабораторная всхожесть снижаются до 26–74 и 52–92 % соответственно, что обуславливает четкую дифференциацию коллекции ячменя по степени восприимчивости к NaCl. При данной концентрации сорта Кудесник и Абалак в максимальной степени угнетались: длина корней была на 44 и 46 % меньше контроля соответственно. У сортов Зенит и Дивный этот показатель был значительно меньше – 8 и 12 % соответственно. **Рекомендации.** Для биохимического маркирования солеустойчивости рекомендуется использовать в качестве устойчивых генотипов Ачу и ТМ16-6-18, а восприимчивых – ТМ16-25-10 и ТМ18-80-4. Современные сорта ячменя по степени солеустойчивости имеют следующий ряд: Абалак (чувствительный) – Кудесник – Дивный – Зенит – Ача (устойчивый). Селекционные линии ТМ17-1-12; ТМ10-30-4; ТМ16-25-20 и ТМ18-80-4 рекомендуются для создания солеустойчивых сортов ячменя.

Ключевые слова: абиотические факторы, солеустойчивость, ячмень, хлоридно-натриевое засоление, биохимические маркеры, селекция, прорастание зерна, индекс длины корней

Благодарности. Работа финансировалась за счет средств бюджета Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН» «Разработка ускоренной системы отбора устойчивых к абиотическим факторам ценных генотипов зернофуражных культур (ячмень, овес) методом биохимического маркирования» (FWRZ-2024-0008).

Для цитирования: Еремин Д. И., Сахарова В. В., Любимова А. В. Сортовая реакция ячменя на хлоридное засоление: значение для селекции и производства // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 1896–1907. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1896-1907.

Дата поступления статьи: 22.07.2026, ***дата рецензирования:*** 08.08.2026, ***дата принятия:*** 20.08.2026.

© Еремин Д. И., Сахарова В. В., Любимова А. В., 2026

Varietal reaction of barley to chloride salinization: importance for breeding and production

D. I. Eremin✉, **V. V. Sakharova, A. V. Lyubimova**
Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – a branch of the Federal Research Center "Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia
✉*E-mail: soil-tyumen@yandex.ru*

Abstract. **The purpose** of the study is to determine the genotypes of spring barley that have a contrast reaction to sodium chloride salinity and are promising for the development of biochemical markers used in the early stages of breeding. **Methods**. In the collection of modern barley cultivars and promising breeding lines, physiological parameters were determined at the early stages of grain germination (up to 7 days): germination energy, laboratory germination, germination rate index, air-dry biomass of seedlings, root length index. Barley seeds were collected from the sown collection in 2023 and 2024. **Scientific novelty.** For the first time, the reaction of barley varieties and valuable breeding lines zoned in the Tyumen region to the increasing level of sodium chloride salinity was studied and genotypes with a contrasting response to salinity were identified. **Results.** It has been established that a sodium chloride concentration of 5 g/l provides reliable detection of stable and susceptible oat genotypes at the early stages of ontogenesis. All the studied indicators, with the exception of the germination index, have a strong negative correlation with the number of salt tolerance points ($r > 0.7$), which makes it possible to reliably assess genotypes based on the minimum number of signs. At a concentration of 5 g/l, germination energy and laboratory germination rate decrease to 26–74 and 52–92 %, respectively, which leads to a clear differentiation of the barley collection according to the degree of susceptibility to NaCl. At this concentration, the cultivars Kudesnik and Abalak were maximally suppressed – the root length was 44 and 46 % less than the control, respectively. For Zenit and Divnyy cultivars, this indicator was significantly lower – 8 and 12 %, respectively. **Recommendations**. For biochemical labeling of salt resistance, it is recommended to use: Acha and TM16-6-18 as resistant genotypes, and TM16-25-10 and TM18-80-4 as susceptible genotypes. Modern barley cultivars have the following range in terms of salt tolerance: Abalak (sensitive) – Kudesnik – Divnyy – Zenit – Acha (stable). The breeding lines TM17-1-12; TM10-30-4; TM16-25-20 and TM18-80-4 are recommended for the creation of salt-resistant barley cultivars.

Keywords: abiotic factors, salt tolerance, barley, sodium chloride salinity, biochemical markers, breeding, grain germination, root length index

Acknowledgements. The study was funded by the budget of the Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – a branch of the Federal Research Center "Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences" "Development of an accelerated system for selecting valuable genotypes of grain crops (barley, oats) resistant to abiotic factors by biochemical labeling" (FWRZ-2024-0008).

For citation: Eremin D. I., Sakharova V. V., Lyubimova A. V. Varietal reaction of barley to chloride salinization: significance for breeding and production. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 1896–1907. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1896-1907. (In Russ.)

Date of paper submission: 22.07.2026, ***date of review:*** 08.08.2026, ***date of acceptance:*** 20.08.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Глобальные климатические изменения на планете прежде всего отражаются на условиях произрастания сельскохозяйственных культур. В зоне умеренно теплого и влажного климата все чаще проявляются контрастные погодные условия, обуславливающие чередование влажного и засушливого вегетационного периода. Это часто становится причиной нестабильного уровня грунтовых вод в регионах. Для Западной Сибири, которая по своему ландшафту отнесена к равнине с низменным рельефом, высота подъема грунтовых вод в совокупности с верховодкой крайне критична. В подтаежной зоне подъем грунтовых вод приводит к переувлажнению с последующим заболачиванием. Для лесостепной зоны близость грунтовых вод к поверхности почвы становится причиной современного засоления. Систематический мониторинг плодородия земель сельскохозяйственного назначения, проводимый Тюменским филиалов ФГБУ «РосАгрохимслужба», отмечает увеличение площади сельскохозяйственных угодий, подвергшихся

© Eremin D. I., Sakharova V. V., Lyubimova A. V., 2026

засолению [1]. В Тюменской области уже выделены административные районы, где эта проблема приобрела глобальный характер: Сладковский, Казанский, Армизонский и Бердюжский, которые располагаются в южной лесостепи. В Западной Сибири среди водорастворимых солей, представляющих угрозу землям сельскохозяйственного назначения, чаще всего встречаются хлориды и чуть реже сульфаты натрия. Содовое засоление имеет локальный характер и характерно для в зоне распространения солонцов и солонцовых почв [2].

В связи с этим возникла необходимость своевременного реагирования на проявление засоления в сельскохозяйственной зоне Западной Сибири. Мелиоративные приемы по рассолению почв очень дорогостоящие, и многие землепользователи не могут их проводить самостоятельно. Помимо этого, особенности рельефа и гидрографии отдельных муниципальных районов не дают возможности проводить мелиоративные мероприятия.

По этим причинам аграриям, на территории которых присутствуют почвы различной степени засоления, необходимо иметь солеустойчивые сорта сельскохозяйственных культур. Среди зерновых культур ячмень считается наиболее устойчивым к почвенному засолению [3].

Традиционно сложилось так, что селекция зернофуражных культур в Западной Сибири велась на повышение генетической устойчивости к кислым и низкоплодородным почвам [4]. В условиях глобального потепления возникла необходимость использования новых подходов к определению степени солеустойчивости на ранних этапах селекции. Также немаловажным аспектом является необходимость поиска генотипов с контрастной реакцией на засоление – от чувствительных до толерантных. Это дает возможность максимально быстрого выявления биохимических маркеров, позволяющих установить уровень стрессоустойчивости зерновых культур от различного уровня и химизма засоления.

Ячмень – культура, наиболее выносливая к почвенному засолению, поэтому для хозяйств, чьи почвы подверглись засолению, она будет оптимальной. Вместе с тем отмечено, что многие современные сорта ячменя в ходе селекционной работы утратили устойчивость к водорастворимым солям, встречающимся в почвах [5; 6]. Поэтому крайне важно определить наиболее солеустойчивые генотипы ячменя и использовать их в селекционных программах по созданию новых солеустойчивых сортов.

Цель работы – определение генотипов ярового ячменя, обладающих контрастной реакцией на хлоридно-натриевое засоление и перспективных для разработки биохимических маркеров, используемых на ранних этапах селекции.

Методология и методы исследования (Methods)

Солеустойчивость генотипов ячменя определяли с помощью модельного эксперимента, имитирующего различную степень хлоридно-натриевого засоления почвы. Опыт был поставлен в лаборатории геномных исследований в растениеводстве Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук». В качестве объекта исследований были выбраны 5 отечественных сортов ячменя: Ача, Зенит, Абалак, Кудесник и Дивный. Также были взяты 15 ценных селекционных линий, созданных в НИИСХ Северного Зауралья: ТМ15-29-24, ТМ10-30-2, ТМ10-30-4, ТМ15-29-11, ТМ16-6-4, ТМ16-25-10, ТМ16-6-10, ТМ16-24-11, ТМ16-6-18, ТМ16-6-14, ТМ17-44-9, ТМ17-2-1, ТМ17-1-12, ТМ18-80-6, ТМ18-80-4. Семенной материал был предоставлен отделом селекции зернофуражных культур из урожая 2023 и 2024 годов, полученного на опытном поле НИИСХ Северного Зауралья.

Погодные условия вегетационного периода 2023 и 2024 годов в целом были благоприятны для формирования и налива зерна ячменя (таблица 1). Погода во время посевных работ (май) кардинально отличалась, о чем свидетельствует гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), равный 0,1 (очень сухо) и 1,6 (влажно). Несмотря на это, погодные условия в время прорастания ячменя и формирования урожая (кущение) были схожи и оптимальны. Температура воздуха в дневные часы в среднем составляла +20…+23 °С и понижением ночью до +12…+14 °С. В июне выпало 86 и 100 мм осадков соответственно с превышением нормы на 40–64 %. Обильные осадки июня обеспечили посевы ячменя до конца его вегетации, обеспечив благоприятный водный режим в июле. Выколашивание и налив зерна проходили в условиях повышенных температур и недобора атмосферных осадков: гидротермический коэффициент Селянинова составил 0,8–0,9 при норме 1,7. Созревание ячменя также проходило в контрастных условиях. В 2023 году ГТК был равен 0,4, что соответствовало очень сухой погоде, а в 2024 году он составил 2,0 (влажные условия). В этот период температура воздуха превышала среднемноголетнее значение на 19–31 %.

Таким образом, несмотря на наличие контрастных погодных условий, вегетационный период в годы получения семенного материала для модельного опыта был благоприятным, что положительно отразилось на посевных качествах зерна.

Оценку чувствительности к солевому засолению проводили на ранних этапах онтогенеза методом рулонной культуры [7; 8]. В рулон из фильтровальной бумаги (ширина 20 см) помещали по 50 одинаковых по размеру семян ячменя без видимых

повреждений. Для снижения вероятности развития плесневых грибов семена дезинфицировали, помещая их на 15 минут в раствор гипохлорита натрия с последующей промывкой в дистиллированной воде. Полученный рулон оборачивали пищевой пленкой, чтобы избежать испарения воды и повышения концентрации соли в зоне прорастания семян. Рулоны помещали в стеклянные сосуды, добавляя в них по 150 мл дистиллированной воды (контроль) или раствор хлорида натрия соответствующей концентрации.

В опыте использовали 3 уровня засоления: 1 г/л (17,1 ммоль/л), 3 г/л (51,3 ммоль/л), 5 г/л (85,6 ммоль/л), что соответствовало средней (0,10–0,30 % к массе почвы), сильной (0,31–0,60 %) и очень сильной (> 0,61 %) степени засоления. Осмотическое давление используемых в опыте концентраций хлористого натрия соответствовало следующим величинам: 0,8, 2,5 и 8,4 атм. Модельный опыт закладывали в четырехкратной повторности. Рулоны размещали вертикально в стеклянные стаканы, оборачивали пленкой и помещали в термостат на 7 суток. Температура в термостате поддерживалась на уровне +20…+22 °С. Освещение отсутствовало, влажность воздуха не регулировалась. Через 72 часа рулоны вынимали из термостата и проводили подсчет проросших семян ячменя, после чего бумажные полосы сворачивали в рулоны и помещали обратно в термостат. Через 7 суток вновь проводили осмотр, фиксируя количество проросших семян, длину первичных корешков, воздушно-сухую массу ростков и корешков.

В опыте определяли энергию прорастания, лабораторную всхожесть, индекс скорости прорастания (ИСП), биомассу проростков (воздушно-сухое состояние), индекс длины корней (ИДК) как отношение длины на вариантах к контролю. Все результаты представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения ($X_{ср.} \pm SD$). Ранжирование генотипов ячменя по степени восприимчивости к хлоридно-натриевому засолению проводили по всем изучаемым показателям с последующим суммированием баллов и группируя их согласно принципам квартильного анализа. Статистическая обработка велась с помощью компьютерной программы Microsoft Excel. Достоверность результатов определяли по критерию Фишера при $p < 0,05$ и наименьшей существенной разности ($НСР_{05}$).

Результаты (Results)

Энергия прорастания изучаемых генотипов ячменя при отсутствии засоления варьировала в очень широком диапазоне (таблица 2) – от 57 (ТМ18-80-4) до 81 % (Ача). Среднее значение по группе составило 62 % при стандартном отклонении 7,4 и коэффициенте варьирования (CV) 12 %. Столь широкий разброс показателя указывает на необходимость сравнения генотипов не по стандартному сорту, а по варианту, где отсутствует стресс-фактор. К аналогичному выводу ранее пришли А. С. Казакова и С. Ю. Майборода [9]. Через 7 суток количество проросших семян возросло до 65–93 % при CV, равном 10 %. Расчет индекса скорости прорастания (ИСП) показал, что из всей группы генотипов только ТМ15-29-24 характеризовался низкими посевными показателями, что обусловлено его генетическими особенностями.

Таблица 1

Погодные условия в годы получения семян ячменя для модельного опыта

Месяцы	Среднемесячная температура воздуха (день/ночь), °С			Количество осадков, мм			ГТК Селянинова		
	2023 г.	2024 г.	Средне-многолетнее	2023 г.	2024 г.	Средне-многолетнее	2023 г.	2024 г.	Средне-многолетнее
Май	22/9	23/3	12/8	2	40	44	0,1	1,6	1,6
Июнь	20/12	23/14	17/14	86	100	61	1,7	1,8	1,3
Июль	27/17	23/15	19/15	54	54	87	0,8	0,9	1,7
Август	21/12	19/12	16/14	20	95	61	0,4	2,0	1,2
Сентябрь	12/8	17/7	10/12	10	21	45	0,3	0,6	1,5

Table 1

Weather conditions during the years when barley seeds were obtained for the model experiment

Months	*Average monthly air temperature (day/night), °C*			*Precipitation, mm*			*HTC of Selyaninov*		
	2023	*2024*	*Average long-term*	*2023*	*2024*	*Average long-term*	*2023*	*2024*	*Average long-term*
May	*22/9*	*23/3*	*12/8*	*2*	*40*	*44*	*0.1*	*1.6*	*1.6*
June	*20/12*	*23/14*	*17/14*	*86*	*100*	*61*	*1.7*	*1.8*	*1.3*
July	*27/17*	*23/15*	*19/15*	*54*	*54*	*87*	*0.8*	*0.9*	*1.7*
August	*21/12*	*19/12*	*16/14*	*20*	*95*	*61*	*0.4*	*2.0*	*1.2*
September	*12/8*	*17/7*	*10/12*	*10*	*21*	*45*	*0.3*	*0.6*	*1.5*

Таблица 2

Влияние уровня хлоридно-натриевого засоления на прорастание генотипов ячменя

Генотип	Энергия прорастания, %					Лабораторная всхожесть, %				
	0 г/л	1 г/л	3 г/л	5 г/л	Среднее	0 г/л	1 г/л	3 г/л	5 г/л	Среднее
Ача	90	88	80	74	**81**	95	96	90	92	**93**
Зенит	88	86	70	58	**71**	93	95	90	80	**88**
Абалак	91	78	57	35	**57**	94	95	77	54	**75**
Кудесник	90	79	53	37	**56**	95	90	82	56	**76**
Дивный	89	70	58	54	**61**	94	90	87	70	**82**
ТМ15-29-24	77	75	61	62	**66**	97	95	90	83	**89**
ТМ10-30-2	88	75	60	42	**59**	95	90	82	75	**82**
ТМ10-30-4	86	79	55	34	**56**	91	90	68	60	**73**
ТМ15-29-11	84	76	53	37	**55**	92	90	84	72	**82**
ТМ16-6-4	90	82	60	62	**68**	95	95	90	82	**89**
ТМ16-25-10	85	78	65	28	**57**	93	90	86	64	**80**
ТМ16-6-10	87	81	60	54	**65**	95	93	90	81	**88**
ТМ16-24-11	90	79	65	26	**57**	95	82	76	63	**74**
ТМ16-6-18	87	80	67	64	**70**	97	95	90	78	**88**
ТМ16-6-14	86	70	55	33	**53**	93	76	72	53	**67**
ТМ17-44-9	90	89	67	50	**69**	96	93	90	78	**87**
ТМ17-2-1	87	79	59	51	**63**	95	95	79	73	**82**
ТМ17-1-12	83	70	64	33	**56**	92	72	70	52	**65**
ТМ18-80-6	85	84	72	58	**71**	94	90	87	70	**82**
ТМ18-80-4	88	82	57	31	**57**	95	84	75	57	**72**
Среднее	**87**	**79**	**62**	**46**		**94**	**90**	**83**	**70**	
$НСР_{05}$	Фактор А (генотип) – 5 Фактор В (уровень засоления) – 3 Взаимодействие АВ – 6					Фактор А (генотип) – 7 Фактор В (уровень засоления) – 5 Взаимодействие АВ – 8				

Table 2

Effect of the level of chloride-sodium salinity on the germination of barley genotypes

Genotype	*Germination energy, %*					*Laboratory germination, %*				
	0 g/l	*1 g/l*	*3 g/l*	*5 g/l*	*Average*	*0 g/l*	*1 g/l*	*3 g/l*	*5 g/l*	*Average*
Acha	*90*	*88*	*80*	*74*	***81***	*95*	*96*	*90*	*92*	***93***
Zenit	*88*	*86*	*70*	*58*	***71***	*93*	*95*	*90*	*80*	***88***
Abalak	*91*	*78*	*57*	*35*	***57***	*94*	*95*	*77*	*54*	***75***
Kudesnik	*90*	*79*	*53*	*37*	***56***	*95*	*90*	*82*	*56*	***76***
Divnyy	*89*	*70*	*58*	*54*	***61***	*94*	*90*	*87*	*70*	***82***
TM15-29-24	*77*	*75*	*61*	*62*	***66***	*97*	*95*	*90*	*83*	***89***
TM10-30-2	*88*	*75*	*60*	*42*	***59***	*95*	*90*	*82*	*75*	***82***
TM10-30-4	*86*	*79*	*55*	*34*	***56***	*91*	*90*	*68*	*60*	***73***
TM15-29-11	*84*	*76*	*53*	*37*	***55***	*92*	*90*	*84*	*72*	***82***
TM16-6-4	*90*	*82*	*60*	*62*	***68***	*95*	*95*	*90*	*82*	***89***
TM16-25-10	*85*	*78*	*65*	*28*	***57***	*93*	*90*	*86*	*64*	***80***
TM16-6-10	*87*	*81*	*60*	*54*	***65***	*95*	*93*	*90*	*81*	***88***
TM16-24-11	*90*	*79*	*65*	*26*	***57***	*95*	*82*	*76*	*63*	***74***
TM16-6-18	*87*	*80*	*67*	*64*	***70***	*97*	*95*	*90*	*78*	***88***
TM16-6-14	*86*	*70*	*55*	*33*	***53***	*93*	*76*	*72*	*53*	***67***
TM17-44-9	*90*	*89*	*67*	*50*	***69***	*96*	*93*	*90*	*78*	***87***
TM17-2-1	*87*	*79*	*59*	*51*	***63***	*95*	*95*	*79*	*73*	***82***
TM17-1-12	*83*	*70*	*64*	*33*	***56***	*92*	*72*	*70*	*52*	***65***
TM18-80-6	*85*	*84*	*72*	*58*	***71***	*94*	*90*	*87*	*70*	***82***
TM18-80-4	*88*	*82*	*57*	*31*	***57***	*95*	*84*	*75*	*57*	***72***
Average	***87***	***79***	***62***	***46***		***94***	***90***	***83***	***70***	
LSD_{05}	*Factor A (genotype) – 5* *Factor B (salinity level) – 3* *AB interaction – 6*					*Factor A (genotype) – 7* *Factor B (salinity level) – 5* *AB interaction – 8*				

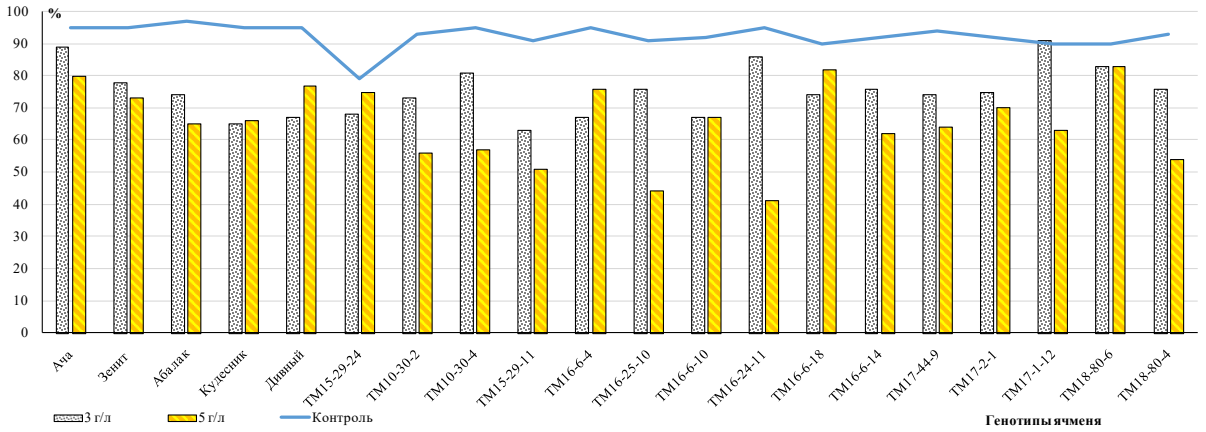


Рис. 1. Влияние уровня хлоридно-натриевого засоления на индекс скорости прорастания зерна ячменя, %. $НСР_{05}$ для фактора А (генотип) – 6 %, фактора В – 8 %, АВ – 10 %

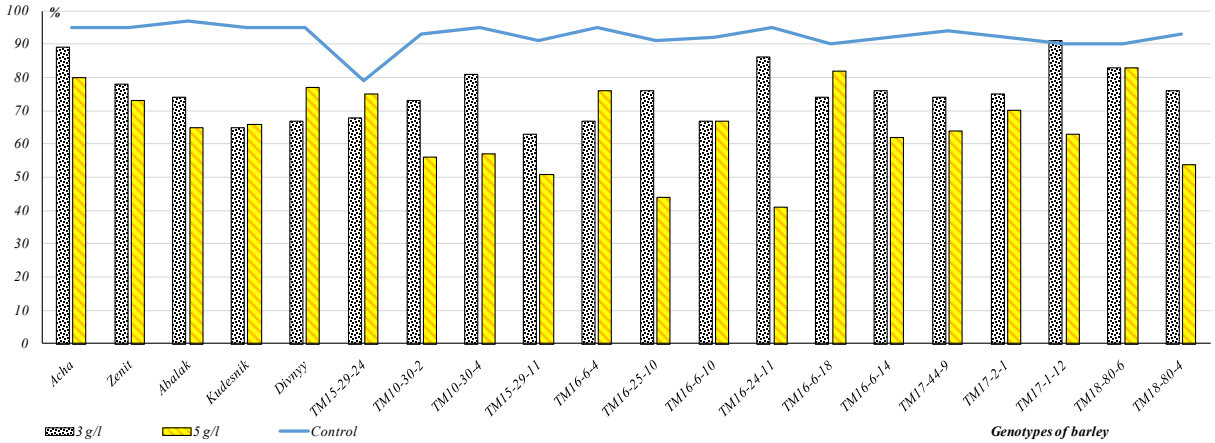


Fig. 1. Effect of the level of chloride-sodium salinity on the germination rate index of barley grain, %. LSD_{05} for factor A (genotype) – 6 %; factor B – 8 %; AB – 10 %

При минимальной концентрации хлорида натрия (1 г/л) энергия прорастания не изменилась только у Ачи, Зенита и следующих селекционных линий ТМ17-44-9, ТМ18-80-6, ТМ15-29-24. У остальных генотипов изменения относительно контроля были выше наименьшей существенной разности ($НСР_{05}$ = 5 %). Через 7 суток проращивания негативное воздействие NaCl (1 г/л) было зафиксировано только у селекционных линий ТМ17-1-12, ТМ16-6-14, ТМ16-24-11, ТМ18-80-4. Лабораторная всхожесть остальных генотипов не отличалась от контроля.

Повышение концентрации хлорида натрия до 3 г/л, соответствующее сильной степени засоления почв, негативно воздействовало на прорастание всех генотипов ячменя – энергия прорастания снизились до 53–80 %. В дальнейшем часть генотипов смогла преодолеть солевой стресс – лабораторная всхожесть приблизилась к значениям контроля (ТМ16-6-4, ТМ16-6-10, Ача, Зенит). Наиболее чувствительными оказались ТМ10-30-4, ТМ17-1-12, ТМ16-6-14, ТМ18-80-4, лабораторная всхожесть которых снизилась до 68–75 %.

Концентрация хлорида натрия 5 г/л соответствует солончаковому типу засоления и наиболее часто встречается во время посевных работ в засушливые годы. Именно в этот период фиксируется гибель прорастающих зерновых культур на почвах, имеющих признаки засоленности. На третий день проращивания минимальное снижение энергии прорастания было зафиксировано у Ачи и ТМ15-29-24. Несколько уступали им Зенит, ТМ16-6-4, ТМ18-80-6, ТМ16-6-10 и ТМ16-6-18. Выделенные генотипы характеризовались минимальным снижением и лабораторной всхожести, которая составила 70–92 %. Наиболее восприимчивыми к высокому уровню засоления оказались сорта Тюменской селекции Абалак и Кудесник: их лабораторная всхожесть составила 54 и 56 % соответственно. Среди селекционных линий восприимчивыми к хлоридно-натриевому засолению были ТМ16-6-14 и ТМ17-1-12.

Интенсивность угнетения прорастающих семян можно определить по индексу скорости прорастания (ИСП). В оптимальных условиях этот показатель для ячменя превышает 90 % [10]. В модельном опыте лишь ТМ15-29-24 характеризовался низким значением ИСП – 79 %, что обусловлено его генетическими особенностями. Остальные генотипы характеризовались очень высокой скоростью прорастания: в течение 3 суток проросло 90–97 % семян.

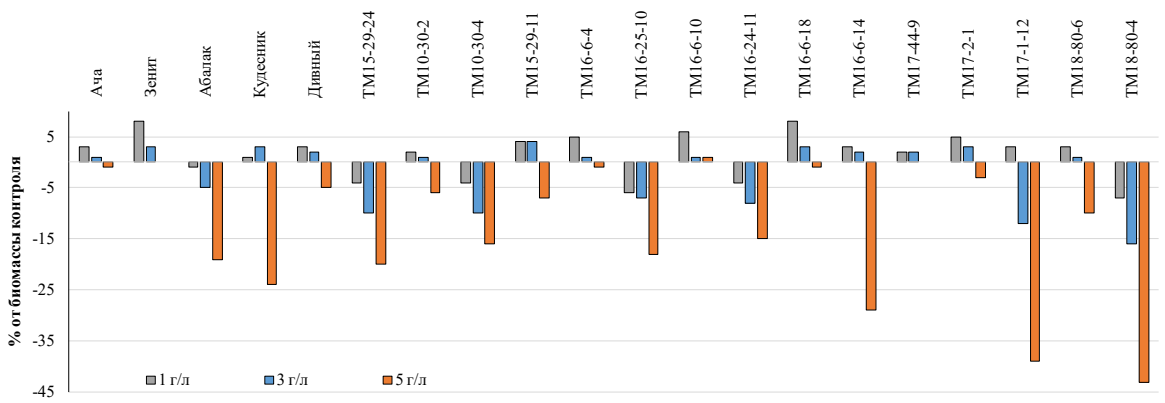


Рис. 2. Влияние уровня хлоридно-натриевого засоления на массу проростков ячменя, % от контроля

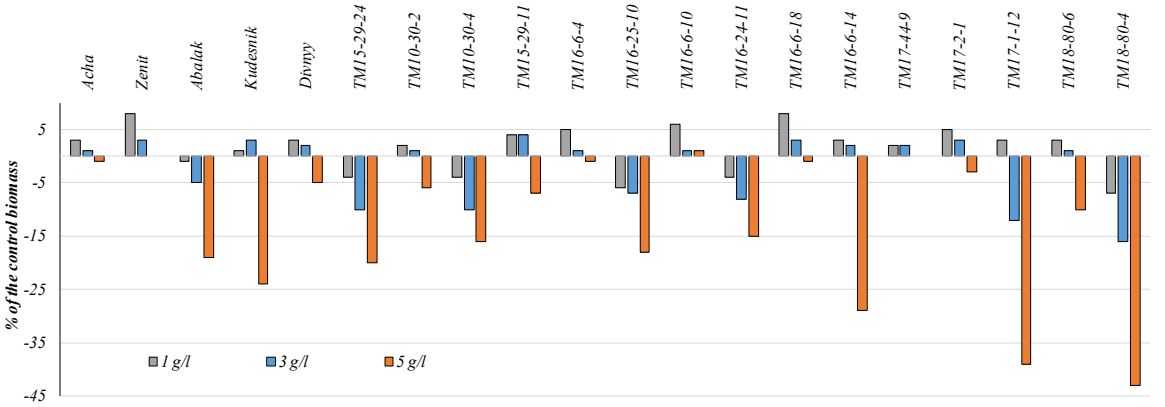


Fig. 2. Effect of the level of chloride-sodium salinity on the mass of barley sprouts, % of the control

Среди изучаемых генотипов ячменя 8 образцов достоверно реагировали на минимальную концентрацию хлорида натрия (1 г/л): индекс скорости прорастания снизился до 78–88 %. В эту группу вошли сорта Дивный, Абалак, Кудесник. На повышение концентрации соли до 3 г/л не отреагировали только Ача, ТМ18-80-6 и ТМ17-1-12. У остальных генотипов индекс скорости прорастания снизился до 63–81 %.

Приемлемый индекс скорости прорастания (> 70 %) при максимальном уровне засоленности (5 г/л) был зафиксирован только у трех сортов ячменя: Зенит, Дивный, Ача, а также у селекционных линий ТМ17-2-1, ТМ15-29-24, ТМ16-6-4, ТМ16-6-18 и ТМ18-80-6.

Процесс прорастания сопровождается активным накоплением вегетативной биомассы, которая складывается из первичных корешков и ростка. Биомасса является индивидуальной особенностью, которая прежде всего зависит от морфофизиологических особенностей генотипа [11]. В изучаемой группе воздушно-сухая масса проростков (корни + росток) варьировала от 0,896 до 2,00 г при среднем значении 1,31 г (рис. 2). На долю массы первичных корешков приходилось 37–50 % от биомассы.

Статистически значимое превышение средней по группе биомассы было зафиксировано у 4 генотипов: Ача, ТМ10-30-4; ТМ18-80-4 и Абалак ($F_{факт.} > F_{теор.}$ при p = 5 %). Биомасса этих генотипов при отсутствии засоления превышала 1,50 г. В противоположность им были выделены 6 генотипов (ТМ16-6-10; ТМ17-2-1; Зенит; ТМ16-6-18; ТМ18-80-6; ТМ16-25-10), чья биомасса достоверно была ниже средней величины по группе (1,31 г).

При минимальной концентрации хлорида натрия (1 г/л) основная часть изучаемой коллекции не реагировала и развивалась аналогично контролю. Вместе с тем селекционные линии ТМ18-80-4 и ТМ16-25-10 оказались максимально чувствительны к соли: снижение биомассы составило 6–7 % относительно контроля при наименьшей существенной разности, равной 4 %. Также был отмечен интересный факт стимулирования минимальной концентрации хлорида натрия на накопление массы проростков. Достоверное увеличение биомассы через 7 суток проращивания было зафиксировано у селекционных линий ячменя ТМ16-6-4, ТМ17-2-1, ТМ16-6-10, ТМ16-6-18 и сорта Зенит. Повышение концентрации хлорида натрия до 3 г/л привело к угнетению 7 генотипов ячменя на ранних этапах онтогенеза. Незначительное снижение биомассы проростков зафиксировали у сорта Абалак и селекционных линий ТМ16-24-11, ТМ16-25-10 ($F_{факт.} > F_{теор.}$ при p = 0,05). У ТМ18-80-4, ТМ17-1-12, ТМ15-29-24, ТМ10-30-4 недобор массы проростков составил 8–16 % относительно контроля.

Таблица 3

Длина первичных корней ячменя при различных концентрациях NaCl, мм

Генотипы	Уровень засоления, г/л				Изменение длины корней, % от контроля		
	0	1	3	5	1 г/л	3 г/л	5 г/л
Ача	103 ±1,9	123 ±1,5	126 ±1,0	126 ±1,7	19	22	22
Зенит	144 ±3,6	161 ±1,6	139 ±1,9	133 ±1,8	12	–3*	–8
Абалак	165 ±0,5	162 ±1,4	150 ±1,2	89 ±1,2	–2*	–9	–46
Кудесник	148 ±0,5	151 ±0,8	145 ±1,3	83 ±1,7	2*	–2*	–44
Дивный	134 ±2,1	143 ±0,9	121 ±1,2	118 ±1,7	7*	–10	–12
ТМ15-29-24	134 ±1,4	146 ±2,3	131 ±1,5	109 ±1,2	9	–2*	–19
ТМ10-30-2	140 ±2,2	162 ±1,2	143 ±1,7	135 ±1,2	16	2*	–4*
ТМ10-30-4	160 ±1,2	156 ±1,3	147 ±1,5	127 ±1,2	–3*	–8	–21
ТМ15-29-11	132 ±1,6	152 ±0,7	143 ±1,7	133 ±1,1	15	8	1*
ТМ16-6-4	141 ±1,2	161 ±1,4	149 ±1,5	140 ±1,6	14	6*	–1*
ТМ16-25-10	136 ±0,9	138 ±1,2	119 ±1,4	104 ±1,8	1*	–13	–24
ТМ16-6-10	151 ±0,8	145 ±1,6	140 ±1,1	137 ±1,6	–4*	–7*	–9
ТМ16-24-11	127 ±2,1	139 ±1,3	132 ±1,9	109 ±1,7	9	4*	–14
ТМ16-6-18	127 ±1,7	154 ±1,3	137 ±1,4	122 ±1,0	21	8	–4*
ТМ16-6-14	150 ±0,9	160 ±1,4	134 ±1,4	130 ±1,0	7*	–11	–13
ТМ17-44-9	159 ±0,8	169 ±1,4	144 ±1,2	146 ±1,1	6*	–9*	–8
ТМ17-2-1	165 ±2,2	172 ±1,0	162 ±1,4	152 ±1,7	4*	–2*	–8
ТМ17-1-12	170 ±0,4	181 ±2,0	140 ±1,4	134 ±1,1	6*	–18	–21
ТМ18-80-6	143 ±1,8	156 ±1,5	152 ±1,2	133 ±2,1	9	6*	–7*
ТМ18-80-4	151 ±0,9	147 ±1,2	108 ±1,3	85 ±1,0	–3*	–28	–44

*Примечание. * Изменение статистически незначимо ($F_{факт.} < F_{теор.}$ при $p = 0,05$).*

Table 3

Length of barley primary roots at different NaCl concentrations, mm

Genotypes	*Salinity level, g/l*				*Change in root length, % of control*		
	0	*1*	*3*	*5*	*1 g/l*	*3 g/l*	*5 g/l*
Acha	*103 ±1.9*	*123 ±1.5*	*126 ±1.0*	*126 ±1.7*	*19*	*22*	*22*
Zenit	*144 ±3.6*	*161 ±1.6*	*139 ±1.9*	*133 ±1.8*	*12*	*–3**	*–8*
Abalak	*165 ±0.5*	*162 ±1.4*	*150 ±1.2*	*89 ±1.2*	*–2**	*–9*	*–46*
Kudesnik	*148 ±0.5*	*151 ±0.8*	*145 ±1.3*	*83 ±1.7*	*2**	*–2**	*–44*
Divnyy	*134 ±2.1*	*143 ±0.9*	*121 ±1.2*	*118 ±1.7*	*7**	*–10*	*–12*
TM15-29-24	*134 ±1.4*	*146 ±2.3*	*131 ±1.5*	*109 ±1.2*	*9*	*–2**	*–19*
TM10-30-2	*140 ±2.2*	*162 ±1.2*	*143 ±1.7*	*135 ±1.2*	*16*	*2**	*–4**
TM10-30-4	*160 ±1.2*	*156 ±1.3*	*147 ±1.5*	*127 ±1.2*	*–3**	*–8*	*–21*
TM15-29-11	*132 ±1.6*	*152 ±0.7*	*143 ±1.7*	*133 ±1.1*	*15*	*8*	*1**
TM16-6-4	*141 ±1.2*	*161 ±1.4*	*149 ±1.5*	*140 ±1.6*	*14*	*6**	*–1**
TM16-25-10	*136 ±0.9*	*138 ±1.2*	*119 ±1.4*	*104 ±1.8*	*1**	*–13*	*–24*
TM16-6-10	*151 ±0.8*	*145 ±1.6*	*140 ±1.1*	*137 ±1.6*	*–4**	*–7**	*–9*
TM16-24-11	*127 ±2.1*	*139 ±1.3*	*132 ±1.9*	*109 ±1.7*	*9*	*4**	*–14*
TM16-6-18	*127 ±1.7*	*154 ±1.3*	*137 ±1.4*	*122 ±1.0*	*21*	*8*	*–4**
TM16-6-14	*150 ±0.9*	*160 ±1.4*	*134 ±1.4*	*130 ±1.0*	*7**	*–11*	*–13*
TM17-44-9	*159 ±0.8*	*169 ±1.4*	*144 ±1.2*	*146 ±1.1*	*6**	*–9**	*–8*
TM17-2-1	*165 ±2.2*	*172 ±1.0*	*162 ±1.4*	*152 ±1.7*	*4**	*–2**	*–8*
TM17-1-12	*170 ±0.4*	*181 ±2.0*	*140 ±1.4*	*134 ±1.1*	*6**	*–18*	*–21*
TM18-80-6	*143 ±1.8*	*156 ±1.5*	*152 ±1.2*	*133 ±2.1*	*9*	*6**	*–7**
TM18-80-4	*151 ±0.9*	*147 ±1.2*	*108 ±1.3*	*85 ±1.0*	*–3**	*–28*	*–44*

*Note. * The change is statistically insignificant ($F_{fact.} < F_{theor.}$ at $p = 0.05$).*

Повышение концентрации хлорида натрия до 5 г/л в почве – явление достаточно частое. Обычно это происходит в засушливый период, который приходится на посевные работы в мае и середину вегетации ячменя (июль) [12]. Поэтому для селекции солеустойчивых сортов ячменя крайне важно понимание степени реакции на высокий уровень засоления в момент прорастания.

В изучаемой коллекции 8 генотипов обладали высокой устойчивостью – отклонения по биомассе были статистически незначимы. В этой группе оказались сорта Дивный, Ача, Зенит, селекционные линии ТМ17-2-1, ТМ16-6-4, ТМ16-6-18, ТМ17-44-9 и ТМ16-6-10.

Зерновые культуры имеют мочковатую корневую систему, которую можно разделить как на первичную, появляющуюся во время прорастания зерна, так и вторичную – образующуюся во время кущения. Путем многочисленных экспериментов было доказано, что первичные корни не отмирают после кущения, а остаются жизнеспособными на протяжении всей вегетации растений [13]. Установлена прямая корреляция между длиной корней, сформировавшихся на начальных этапах онтогенеза и зерновой продуктивностью. Поэтому селекционеры часто определяют ценность линий по этому показателю. Длина первичных корней существенно зависит не только от генотипа, но и внешних факторов и прежде всего от содержания солей или тяжелых металлов [14; 15].

Средняя длина первичных корней в изучаемой группе ячменя при отсутствии засоления составила 144 мм с варьированием в пределах от 103 (Ача) до 170 мм (ТМ17-1-12). Концентрация хлорида натрия 1 г/л положительно отразилась на длине корней ячменя. В среднем по группе она составила 154 мм, что на 7 % превысило контроль (таблица 3).

Установлено, что у девяти генотипов ячменя длина первичных корней не отличалась от контроля: изменения были статистически незначимыми ($F_{факт.} < F_{теор.}$ при $p = 0{,}05$). У семи генотипов (Зенит, ТМ16-6-4, ТМ15-29-11, ТМ10-30-2, Ача, ТМ16-6-18) превышение длины первичных корней было более 10 % относительно контроля.

Повышение концентрации хлорида натрия до 3 г/л обеспечило дифференциацию изучаемой коллекции ячменя по длине первичных корней. В группу с достоверным снижением вошли 9 генотипов, в том числе сорта Дивный и Абалак. Наиболее чувствительными к хлоридно-натриевому засолению оказались селекционные линии ТМ18-80-4, ТМ17-1-12, ТМ16-25-10, ТМ16-6-14, у которых снижение длины корней относительно контроля было более 10 %. Положительная реакция была зафиксирована лишь у 3 генотипов (ТМ15-29-11, ТМ16-6-18, Ача). Длина корней через 7 суток проращивания была на 8–22 % больше значений контроля.

На варианте с максимальной изучаемой концентрацией NaCl (5 г/л) кардинальных изменений не произошло: количество генотипов с достоверным снижением длины первичных корней возросло до 15, среди которых Абалак и Кудесник характеризовались максимальным угнетением ростовых процессов: длина корней была на 46 и 44 % меньше контроля. У сортов Зенит и Дивный этот показатель был значительно меньше – 8 и 12 % соответственно.

Были выделены генотипы ячменя, у которых первичная корневая система не реагировала на возрастающую концентрацию хлорида натрия. В эту группу вошли селекционные линии ТМ10-30-2, ТМ16-6-18, ТМ16-6-4 и ТМ15-29-11. Сорт Ача обладал интересной особенностью: его первичная корневая система положительно реагировала на три концентрации хлорида натрия – ее длина на 19–22 % превышала значения контроля.

В ходе оценки солеустойчивости по комплексу изучаемых показателей было проведено ранжирование генотипов ячменя. В группу устойчивых генотипов вошли сорта Ача и Зенит, которые можно рекомендовать для выращивания на засоленных почвах и использовать в селекционных программах по созданию солеустойчивых сортов ячменя. Селекционная линия ТМ16-6-18 также набрала минимальное количество баллов и соответствовала сорту Ача по устойчивости к хлоридно-натриевому засолению.

В группу с промежуточной восприимчивостью (среднеустойчивые, восприимчивые) вошли 2 сорта (Дивный и Кудесник), а также 8 селекционных линий ячменя. К чувствительным генотипам (193–230 баллов) отнесены 6 образцов, среди которых был сорт Абалак Тюменской селекции. Наиболее восприимчивой к хлоридно-натриевому засолению оказалась селекционная линия ТМ18-80-4, которая набрала 230 баллов, что почти в 5 раз больше, чем у сорта Ача. Аналогичная восприимчивость была у ТМ16-25-10, которая оценивалась в 216 баллов.

В ходе статистического анализа установлено, что концентрация хлорида натрия 5 г/л наиболее информативно показывает степень солеустойчивости ячменя. При данной концентрации степень сопряженности по Пирсону между ранговым количеством баллов солеустойчивости генотипа и группы изучаемых признаков существенно выше (0,8), чем при других концентрациях (0,5–0,6). Также было установлено, что все выбранные для изучения солеустойчивости ячменя показатели, за исключением индекса прорастания, имеют сильную отрицательную корреляционную связь ($r > 0{,}7$) с суммарным количеством баллов солеустойчивости, что дает возможность достоверной оценки генотипов по минимальному количеству признаков. К аналогичному выводу пришли и другие ученые, занимающиеся проблемой солеустойчивости сельскохозяйственных культур [16; 17].

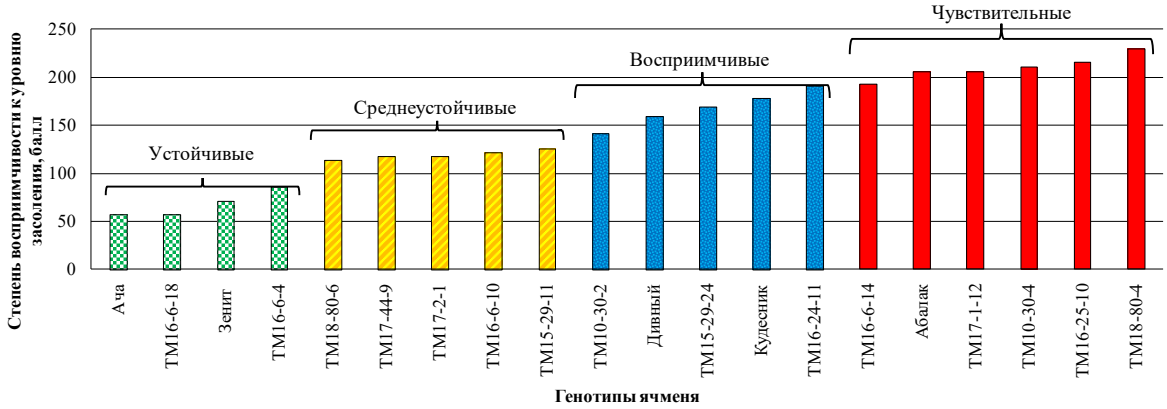


Рис. 3. Ранжирование генотипов ячменя по степени восприимчивости к хлоридно-натриевому засолению, балл

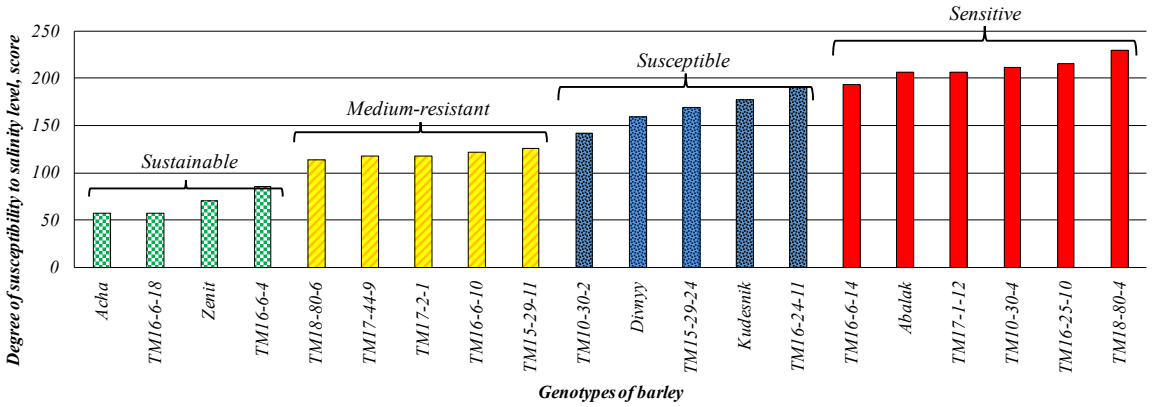


Fig. 3. Ranking of barley genotypes according to the degree of susceptibility to sodium chloride salinity, point

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе проведения модельных исследований, комплексной оценки и ранжирования изучаемой группы ячменя были установлены контрастные по устойчивости к хлоридно-натриевому засолению генотипы, которые можно рекомендовать для поиска биохимических маркеров солеустойчивости ячменя. В качестве устойчивых генотипов рекомендуется использовать Ачу и TM16-6-18, а восприимчивых – TM16-25-10 и TM18-80-4. Сорта ячменя по степени солеустойчивости составили следующий ряд: Абалак – Кудесник – Дивный – Зенит – Ача. Его можно использовать в качестве обоснованного выбора сорта для полей с разным уровнем засоления. Селекционные линии TM17-1-12, TM10-30-4, TM16-25-20 и TM18-80-4 рекомендуются для включения в селекционную программу по созданию солеустойчивых сортов ячменя.

Библиографический список

1. Веселова М. Н., Юрлова А. А. Анализ состояния и использования сельскохозяйственных угодий Юга Тюменской области // Московский экономический журнал. 2022. Т. 7, № 9. DOI: 10.55186/2413046X_2022_7_9_508.

2. Скипин Л. Н., Гаевая Е. В., Захарова Е. В. [и др.]. Реакция клубеньковых бактерий на условия засоления питательной среды // Агрохимический вестник. 2025. № 5. С. 59–63. DOI: 10.24412/1029-2551-2025-5-010.

3. Tao R., Ding J., Li C., et al. Evaluating and screening of agro-physiological indices for salinity stress tolerance in wheat at the seedling stage // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12. Article number 646175. DOI: 10.3389/fpls.2021.646175.

4. Akhtyamova A., Eremin D. Comparative assessment of the genotypes of oats of domestic and foreign breeding to the toxic effect of aluminum ions // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 139. Article number 05007. DOI: 10.1051/bioconf/202413905007.

5. Таскина К. Б., Казнина Н. М., Титов А. Ф. Влияние умеренного и сильного натрий-хлоридного засоления на рост и фотосинтетический аппарат растений ячменя и пшеницы // Агрохимия. 2024. № 11. С. 47–55. DOI: 10.31857/S0002188124110073.

6. Gharaghanipor N., Arzani A., Rahimmalek M., Ravash R. Physiological and transcriptome indicators of salt tolerance in wild and cultivated barley // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. Article number 819282. DOI: 10.3389/fpls.2022.819282.

7. Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода. Москва: Наука, 1968. 226 с.

8. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям (методическое руководство) / Под ред. Г. В. Удовенко. Ленинград: ВИР, 1988. 227 с.

9. Казакова А. С., Майборода С. Ю. Микрофенологические фазы прорастания семян ячменя: монография. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2018. 183 с.

10. Хоконова М. Б., Карашаева А. С., Завалин А. А. Качество пивоваренного солода в зависимости от условий хранения ячменя // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 5. С. 71–73.

11. Юсова О. А., Николаев П. Н., Шулико Н. Н. [и др.]. Развитие растений зернофуражных культур в фазе кущения как один из факторов формирования урожайности и качества зерна // Агрофизика. 2025. № 4. С. 21–28. DOI: 10.25695/AGRPH.2025.04.04.

12. Симонова Ю. В., Русаков А. В., Рюмин А. Г. Засоленные почвы Ростовской низины (Ярославская область): морфология, генезис и динамика засоления в годовом гидрологическом цикле // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2018. № 93. С. 40–74. DOI: 10.19047/0136-1694-2018-93-40-74.

13. Sharma A., Saini P., Saini P., et al. Root system architecture in cereals: exploring different perspectives of the hidden half // Brazilian Journal of Botany. 2024. DOI: 10.1007/s40415-024-00991-3.

14. Marik D., Sadhukhan A. Unearthing the hidden organ: vital role of the root in drought tolerance of plants // Plant Molecular Biology. 2025. Vol. 115, No. 6. Article number 119. DOI: 10.1007/s11103-025-01646-x.

15. Ахтямова А. А., Савельева Ю. В. Микроморфологические изменения первичных корешков овса под действием ионов алюминия // Приоритетные направления повышения эффективности, конкурентоспособности и устойчивости аграрной отрасли: материалы международной научной конференции, посвященной 105-летию ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН. Казань, 2025. С. 6–9. DOI: 10.32415/scientia_978-5-907902-43-5(6-9).

16. Кононенко Н. В., Диловарова Т. А., Канавский Р. В. [и др.]. Оценка морфологических и биохимических параметров устойчивости различных генотипов пшеницы к хлоридному засолению // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14, № 1. С. 18–39. DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-1-18-39.

17. Косых Л. А., Никонорова Ю. Ю. Оценка сортов ярового ячменя на устойчивость к солевому стрессу // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 11. С. 31–36. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_11_31.

Об авторах:

Дмитрий Иванович Еремин, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», п. Московский, Тюменская область, Россия;
ORCID 0000-0002-3672-6060, AuthorID 318870. *E-mail: soil-tyumen@yandex.ru*

Виктория Викторовна Сахарова, заведующая лабораторией аналитических исследований и технологической оценки качества зерна, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», п. Московский, Тюменская область, Россия;
ORCID 0009-0006-4996-5542, AuthorID 1143913. *E-mail: saharova.vv@edu.gausz.ru*

Анна Валерьевна Любимова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией геномных исследований в растениеводстве, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», п. Московский, Тюменская область, Россия;
ORCID 0000-0002-1570-9595, AuthorID 819322. *E-mail: ostapenkoav88@yandex.ru*

References

1. Veselova M. N., Yurlova A. A. Analysis of the condition and use of agricultural land of the south of the Tyumen region. *Moscow Economic Journal*. 2022; 7 (9). DOI: 10.55186/2413046X_2022_7_9_508. (In Russ.)

2. Skipin L. N., Gaevaya E. V., Zakharova E. V., et al. Response of nodule bacteria to salinity conditions in the nutrient medium. *Agrochemical Herald.* 2025; 5: 59–63. DOI: 10.24412/1029-2551-2025-5-010. (In Russ.)

3. Tao R., Ding J., Li C., et al. Evaluating and screening of agro-physiological indices for salinity stress tolerance in wheat at the seedling stage. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 646175. DOI: 10.3389/fpls.2021.646175.

4. Akhtyamova A., Eremin D. Comparative assessment of the genotypes of oats of domestic and foreign breeding to the toxic effect of aluminum ions. *BIO Web of Conferences*. 2024; 139: 05007. DOI: 10.1051/bioconf/202413905007. (In Russ.)

5. Taskina K. B., Kaznina N. M., Titov A. F. Comparative study of the effect of moderate and strong sodium chloride salinization on growth and photosynthetic apparatus of cultivated cereals. *Agrochemistry.* 2024; 11: 47–55. DOI: 10.31857/S0002188124110073. (In Russ.)

6. Gharaghanipor N., Arzani A., Rahimmalek M., Ravash R. Physiological and transcriptome indicators of salt tolerance in wild and cultivated barley. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 819282. DOI: 10.3389/fpls.2022.819282.

7. Zhurbitskiy Z. I. *Theory and practice of the vegetative method.* Moscow: Nauka, 1968. 226 p. (In Russ.)

8. Udovenko G. V. (ed.) *Diagnostics of plant resistance to stress (methodological guide).* Leningrad: VIR, 1988. 227 p. (In Russ.)

9. Kazakova A. S., Mayboroda S. Y. *Microphenological phases of germination of barley seeds: monograph*. Zernograd: Azov-Black Sea Engineering Institute of the Donskoy State Agrarian University, 2018. 183 p. (In Russ.)

10. Khokonova M. B., Karashaeva A. S., Zavalin A. A. Quality brewing malt depending on the storage conditions of barley. *Russian Agricultural Sciences*. 2015: 71–73. (In Russ.)

11. Yusova O. A., Nikolaev P. N., Shuliko N. N. Development of grain forage crops in the tillering phase as one of the factors of grain yield formation and its quality. *Agrophysics.* 2025; 4: 21–28. DOI: 10.25695/AGRPH.2025.04.04. (In Russ.)

12. Simonova Yu. V., Rusakov A. V., Ryumin A. G. Salt-affected soils of the Rostov lowland (Yaroslavl region): morphology, genesis and dynamics of salinization in the annual hydrological cycle. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2018; 93: 40–74. DOI: 10.19047/0136-1694-2018-93-40-74. (In Russ.)

13. Sharma A., Saini P., Saini P., et al. Root system architecture in cereals: exploring different perspectives of the hidden half. *Brazilian Journal of Botany*. 2024. DOI: 10.1007/s40415-024-00991-3.

14. Marik D., Sadhukhan A. Unearthing the hidden organ: vital role of the root in drought tolerance of plants. *Plant Molecular Biology*. 2025; 115 (6): 119. DOI: 10.1007/s11103-025-01646-x.

15. Akhtyamova A. A., Savelyeva Yu. V. Micromorphological changes in primary oat roots under the influence of aluminum ions. *Priority areas for improving the efficiency, competitiveness and sustainability of the agricultural sector: materials of the international scientific conference dedicated to the 105th anniversary of the Tatar Research Institute of Agriculture – a separate structural subdivision of the Federal Research Center "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences"*. Kazan, 2025. Pp. 6–9. DOI: 10.32415/scientia_978-5-907902-43-5(6-9). (In Russ.)

16. Kononenko N. V., Dilovarova T. A., Kanavsky R. V. Evaluation of morphological and biochemical resistance parameters to chloride salination in different wheat genotypes. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019; 14 (1): 18–39. DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-1-18-39. (In Russ.)

17. Kosykh L. A., Nikonorova Yu. Yu. Evaluation of spring barley varieties for resistance to salinity stress. *Achievements of Science and Technology in Agribusiness*. 2022; 36 (11): 31–36. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_11_31. (In Russ.)

Authors' information

Dmitriy I. Eremin, doctor of biological sciences, chief researcher at the laboratory of genomic research in crop production, Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – a branch of the Federal Research Center "Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia; ORCID 0000-0002-3672-6060, AuthorID 318870.
E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Viktoriya V. Sakharova, head of the laboratory of analytical research and technological assessment of grain quality, Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Urals – branch of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia; ORCID 0009-0006-4996-5542, AuthorID 1143913. *E-mail: saharova.vv@edu.gausz.ru*

Anna V. Lyubimova, candidate of biological sciences, leading researcher, head of the laboratory of genomic research in crop production, Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – a branch of the Federal Research Center "Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia; ORCID 0000-0002-1570-9595, AuthorID 819322.
E-mail: ostapenkoav88@yandex.ru