

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

SOIL FERTILITY AND PLANT PROTECTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1039

EDN: WBRGIR

УДК 633.11«324»:631.53.027.325



Научная статья

ЭНЕРГИЯ ПРОРАСТАНИЯ, ВСХОЖЕСТЬ
И БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ
СЕМЯН ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ
(*TRITICUM AESTIVUM* L.) В УСЛОВИЯХ
РАЗЛИЧНОЙ КИСЛОТНОСТИ ВОДНОЙ СРЕДЫ

О.В. Мельникова, В.И. Репникова, В.Е. Ториков

Аннотация

Обоснование. Кислые почвы составляют около 50% от всех посевных угодий мира. Урожайность зерна пшеницы может увеличиваться до 50% при уменьшении кислотности с 4,9 до 6,2 единиц. В связи с этим актуальным является оценка сортовой реакции проростков семян озимой пшеницы на изменение уровня кислотности среды произрастания.

Цель. Оценить влияние уровня кислотности водной среды (pH=5, pH=7, pH=9) на изменение энергии прорастания, всхожести и биометрических показателей проростков семян сортов и перспективных линий пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.).

Материалы и методы. Исследования проводили в условиях лабораторно-го опыта (n=6). Объект исследования – семена сортов и перспективных линий озимой пшеницы мягкой. Семена пшеницы проращивали согласно ГОСТ 12038-84. Изучали влияние трех уровней кислотности водной среды: pH=7 (нейтральная) – контроль, pH=5 (кислая), pH=9 (щелочная). Изменение кислотности воды осуществляли методом электролиза с помощью ионизатора «IVA-II».

Результаты. На ранних этапах органогенеза сортовая реакция *Triticum aestivum* на кислотность среды существенно не проявлялась на всхожести семян ($V < 5,5\%$). Среднесортовая реакция на изменение кислотности среды проявлялась

на 7-ые сутки на длине ростков и центральных корешков. Наибольшая средне-сортовая длина ростка – $11,39 \pm 0,66$ см и центрального корешка – $9,48 \pm 0,99$ см отмечалась в вариантах с нейтральной средой. Зародышевые корешки снижали в кислой среде сырую биомассу на 42,3–48,6%. Наибольшую кислотоустойчивость ($V=2,6-8,6\%$) по массе ростков показали сорта: Ангелина, Рубежная, Мера, СТРГ 806015, ЭН Цефей, ЭН Фотон и перспективная линия Эритросперум 69/21.

Заключение. Сорта и перспективные линии вида *Triticum aestivum* предпочитают нейтральную и щелочную (pH=7 и 9) реакцию среды произрастания, а кислая среда (pH=5) вызывает замедление интенсивности роста и уменьшение массы зародышевых ростков и корешков.

Ключевые слова: озимая пшеница; сорта; энергия прорастания; всхожесть семян; кислотность среды; длина корешка; длина ростка

Для цитирования. Мельникова, О. В., Репникова, В. И., & Ториков, В. Е. (2025). Энергия прорастания, всхожесть и биометрические показатели проростков семян озимой пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.) в условиях различной кислотности водной среды. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(1), 144-163. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1039>

Original article

GERMINATIVE ENERGY, GERMINATING ABILITY AND SEED GERMINATION BIOMETRICS OF SOFT WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) IN DIFFERENT ACIDITY AQUEOUS MEDIUM

O.V. Melnikova, V.I. Repnikova, V.E. Torikov

Abstract

Background. Acidic soils account for about 50% of all cultivated lands in the world. The yield of wheat grain can increase up to 50% with a decrease in acidity from 4.9 to 6.2. In this regard it is relevant to assess the varietal reaction of winter wheat seed germs to changes in the acidity level of the growing environment.

Purpose. The study was aimed to evaluate the acidity (pH=5, pH=7, pH=9) effect of the aqueous medium on changes in germinative energy, germinating ability and biometrics of wheat germs of varieties and promising lines of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.).

Materials and methods. The researches were carried out in the conditions of a laboratory experiment (n=6). The object of the research was seed grain of vari-

eties and promising lines of soft winter wheat. The wheat seeds were germinated according to All-Union State Standard 12038-84. The effect of three acidity levels of the aqueous medium was studied: pH=7 (neutral) – control, pH=5 (acidic), pH=9 (alkaline). The change in the water acidity was carried out by electrolysis using an ionizer “IVA-II”.

Results. In the early stages of organogenesis the varietal reaction of *Triticum aestivum* to the acidity affected seed germination insignificant ($V < 5.5\%$). The mean reaction of the varieties to changes in the acidity was recorded on the length of germs and central roots on the 7th day. The highest germ length of the varieties on average (11.39 ± 0.66 cm) and the central root length (9.48 ± 0.99 cm) were observed in the variants with a neutral medium. Primordial roots reduced crude biomass in an aqueous medium by 42.3-48.6%. Such varieties as Angelina, Rubezhnaya, Mera, STRG 806015, EN Cepheus, EN Photon and the promising line *Erythrosperum* 69/21 showed the highest acid resistance ($V = 2.6-8.6\%$) by germ weight.

Conclusion. It has been found that varieties and promising lines of the *Triticum aestivum* species prefer a neutral and alkaline reaction of the growing medium (pH=7 and 9), and an acidic medium (pH=5) causes slowing down growth intensity and decreasing the mass of germs and embryo roots.

Keywords: winter wheat; variety; germinative energy; seed germinating ability; acidity; root length; germ length

For citation. Melnikova, O. V., Repnikova, V. I., & Torikov, V. E. (2025). Germinative energy, germinating ability and seed germination biometrics of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in different acidity aqueous medium. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(1), 144–163. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1039>

Введение

В условиях экстенсивного ведения сельского хозяйства постоянно снижается плодородие почв. Наблюдается уменьшение запасов гумуса, содержания доступных форм питательных веществ, увеличивается кислотность почв, разрушается почвенно-поглощающий комплекс и почвенная структура. Эти неблагоприятные процессы отрицательно влияют на величину урожая сельскохозяйственных культур и на качество продукции [3, с. 92; 14, с. 30]. К ухудшению агрохимических показателей почв, в частности показателя кислотности, могут приводить и некоторые приемы интенсификации земледелия, например длительное применение высоких доз минеральных туков.

Кислые почвы составляют около 50% от всех посевных угодий мира, что ограничивает производство возделываемых культур. Площадь сель-

скохозяйственных угодий с повышенной кислотностью ежегодно увеличивается, в России она составляет примерно 30% [10, с. 116]. В кислых почвах ионы водорода и алюминия – основной стрессор для растений, в том числе для пшеницы, которая считается одним из основных и экономически значимых продуктов питания. Многими исследователями изучены вопросы стрессоустойчивости пшеницы мягкой к различным факторам среды [20, р. 100298; 21, р. 27814; 23, р.273; 24, р. 65]. Удобрительные средства являются значительным и весомым вкладом, воздействующим на продуктивность и качественные показатели зерна озимой пшеницы. Урожайность зерна пшеницы может увеличиваться до 50% при уменьшении кислотности с 4,9 до 6,2 единиц [4, с. 21; 15, с. 32].

Длительное применение в севооборотах минеральных удобрений, извести, биопрепаратов, сидератов влияет на изменение кислотности почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур [7, с. 356; 11, с. 9; 16, с. 26; 18, с. 6].

Рядом авторов [1, с. 32; 16, с. 26] установлено, что при традиционной обработке светло-серой лесной среднесуглинистой почвы (pH_{KCl} 5,6) в варианте с внесением N60P60K60 значения кислотности почвы снижались на 0,5-0,6 ед. pH, почва переходила в разряд слабокислой. Безотвальная глубокая обработка позволяет поддерживать кислотность почвы на первоначальном уровне, даже на удобренных вариантах. Аналогичные данные получены исследователями [5, с. 10; 13, с. 37] в опыте на темно-серой лесной почве, где при длительном внесении N40P40K40 и высокой степени насыщенности основаниями почвы – 85% не оказывалось существенного влияния на величину гидролитической и обменной кислотности почвы, которая за весь период исследований была стабильно нейтральной. Однако применение высоких норм физиологически кислых туков может сдвигать реакцию pH почвы в сторону подкисления. Это может негативно сказаться на величине будущего урожая.

Многие агротехнологические приемы способны влиять на посевные качества семян зерновых культур [12, с. 32; 19, с. 01003]. Всхожесть семян зависит от условий прорастания. На ранних этапах онтогенеза на появление проростков и рост всходов оказывает влияние ряд факторов среды произрастания: температурный режим, влажность, уровень кислотности среды и другие [2, с. 11; 8, с. 125].

Величины энергии прорастания и всхожести семян у групп среднеранних и среднеспелых сортов пшеницы в большей степени зависят от сорта и взаимодействия средовых условий [6, с. 10].

В связи с этим актуальным является оценка сортовой реакции проростков семян озимой пшеницы на изменение уровня кислотности среды произрастания. Реакцию сортов на закисление почв необходимо учитывать при подборе сортов для возделывания с целью снижения вредного влияния этих факторов на растения. По мнению многих авторов [9, с. 66; 17, с. 166; 22, р. 27814], различия в устойчивости между сортами в начальный период вегетации сохраняются как генетический признак и у взрослых растений. Ростовая реакция корневой системы и надземной части растений служит показателем устойчивости зерновых культур к стрессовому воздействию. Поэтому изучение кислотоустойчивости сортов пшеницы на проростках в начальные этапы онтогенеза имеет важное значение.

Цель исследований – оценить влияние уровня кислотности водной среды (рН=5, рН=7, рН=9) на изменение энергии прорастания, всхожести и биометрических показателей проростков семян сортов и перспективных линий озимой пшеницы мягкой (*Triticum aestivum L.*).

В задачу исследования входило оценить сортовую отзывчивость проростков озимой пшеницы на уровень кислотности среды по показателям энергии прорастания, всхожести, длине зародышевого роста и центрального корешка, а также сырой биомассе ростков и корешков. Провести ранжирование сортов и линий пшеницы по данным показателям, выделить наиболее кислотоустойчивые сорта и линии озимой пшеницы мягкой (*Triticum aestivum L.*).

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в условиях лабораторного опыта в 6-ти кратной повторности. Объектом исследований являлись элитные семена 13-ти сортов и 4-х перспективных линий озимой пшеницы мягкой (*Triticum aestivum L.*) отечественной и иностранной селекции: СТРГ 8060 15 (SAATZUCHT STRENG-ENGELEN GMBH), ЭН Тайгета («ЭкоНива-Семена»), ЭН Цефей («ЭкоНива-Семена»), ЭН Фотон («ЭкоНива-Семена»), ЭН Альбирео («ЭкоНива-Семена»), Ангелина (ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»); ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», 3 регион), Рубежная (ФГБУН главный Ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН), Памяти Федина (ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»), Инна (ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»), Мера (ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ»), Августина (РУП Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию), Липецкая звезда SAATZUCHT STRENG-ENGELEN GMBH & CO.KG), Элегия (РУП Научно-практический центр НАН Беларуси по

земледелию) и перспективные линии Эритросперум 69/21, Эритросперум 298/17, Эритросперум 74/21, Эритросперум 223/21 (селекции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»).

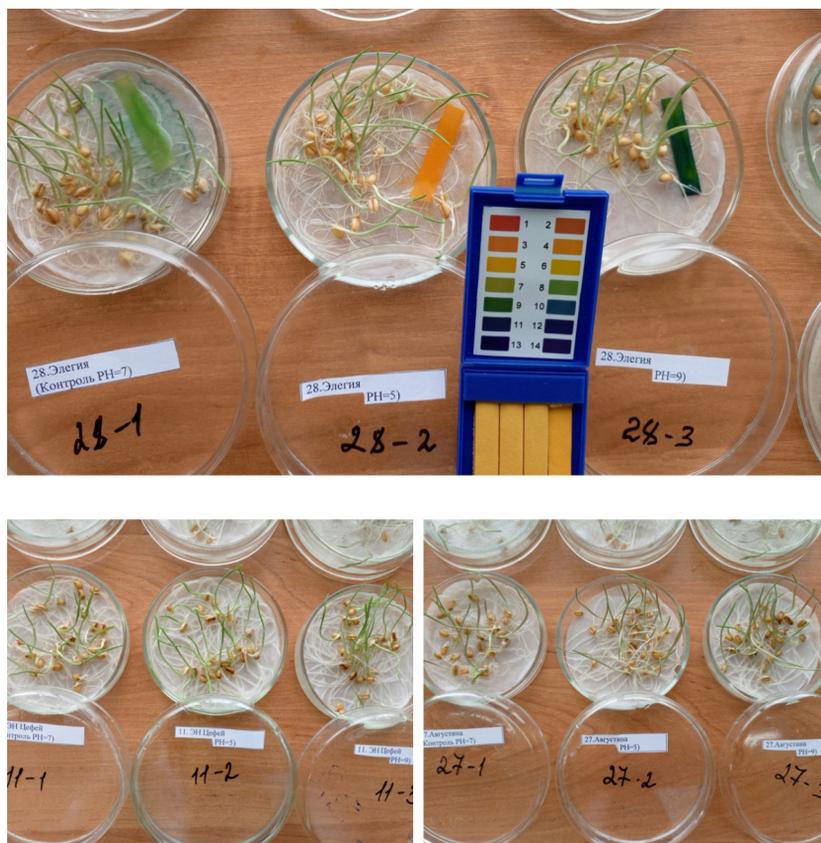


Рис. 1. Энергия прорастания семян пшеницы озимой мягкой (всходы на 3-и сутки онтогенеза) в вариантах с разными уровнями кислотности среды.

Семена пшеницы мягкой озимой проращивали согласно ГОСТ 12038-84, посевные качества семян определяли согласно ГОСТ Р 52325-2005. Проращивание семян пшеницы проводили при постоянной температуре +20°C в чашках Петри на ложе из фильтровальной бумаги в водной среде с разными параметрами pH. В каждую чашку закладывали по 50 семян пшеницы. Повторность каждого варианта 6-ти кратная.

В опыте изучали влияние трех уровней кислотности водной среды: рН=7 (нейтральная) – контроль, рН=5 (кислая), рН= 9 (щелочная) на изменение энергии прорастания, всхожести и биометрических показателей проростков семян озимой пшеницы. В качестве контроля брали питьевую артезианскую воду с рН=7.

Изменение уровня кислотности воды осуществляли методом электролиза питьевой артезианской воды в течение 30 мин с помощью ионизатора воды марки «IVA-II» (ООО «Научно-производственная фирма «ИНКОМК», Москва), снабженного катодом и анодом. Полученная щелочная вода (католит) имела рН=9, кислая вода (анолит) имела рН=5.

Энергию прорастания учитывали на 3-и сутки, всхожесть – на 7-ые сутки, показатели вычисляли в процентах (рис. 1, 2).

На 7-ые сутки определяли длину зародышевого ростка и центрального корешка (см) в каждом варианте опыта, далее определяли сырую массу ростков и корешков (г), выраженную на 100 всходов.

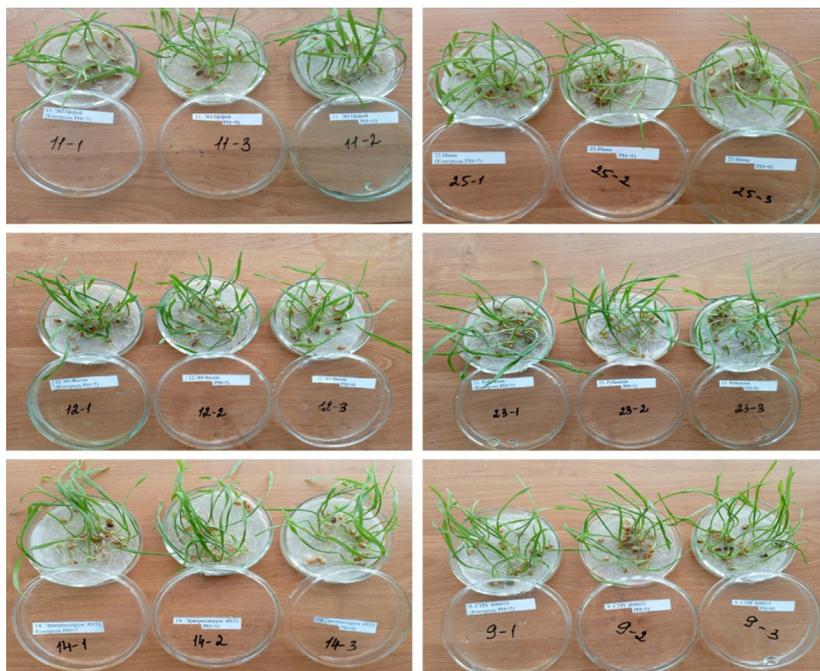


Рис. 2. Всходы пшеницы озимой мягкой на 7-ые сутки онтогенеза в вариантах с разными уровнями кислотности среды.

Статистические параметры количественной изменчивости показателей всхожести, энергии прорастания, биометрических значений ростков и корешков (S^2 , S , S_{x^-} , $S_{x\%}^-$, $V\%$, $\bar{x} \pm t_{0,95} S_{\bar{x}}$) оценивали по статистическим формулам, приведенным в методике опытного дела Б.А. Доспехова (1985). Реакцию сортов и перспективных линий пшеницы на различный уровень кислотности среды определяли по коэффициенту вариации (V , %). При интерпретации данных использовали градации данного коэффициента: 0-10% – низкая вариация, 10-20% – средняя и выше 20% – сильная вариация. Репрезентативность данных подтверждена статистическими показателями для уровня значимости $P_{0,95}$.

Результаты исследования и обсуждение

Оценивая влияние уровня кислотности среды на энергию прорастания семян различных сортов и линий озимой пшеницы, следует отметить, что в течение первых суток онтогенеза наблюдалось дружное набухание семян всех изучаемых сортов и линий пшеницы, независимо от уровня кислотности среды. На третьи сутки онтогенеза пшеницы наибольший среднесортовой показатель энергии прорастания семян – $93,1 \pm 3,22\%$ отмечался у семян, находящихся в кислой среде ($pH=5$), тогда как в щелочной ($pH=9$) и нейтральной среде ($pH=7$) среднесортовые показатели энергии прорастания семян составили $87,6 \pm 4,94\%$ и $82,1 \pm 7,14\%$.

Видовая реакция прорастивания семян *Triticum aestivum* на условия кислотности среды изменялась по мере роста и развития зародышевых ростков и корешков. На 7-ые сутки онтогенеза учет лабораторной всхожести семян пшеницы показал, что в кислой среде ($pH=5$) среднесортовая всхожесть снижалась на $2,0-2,4\%$, по сравнению с вариантами нейтральной $pH=7$ и щелочной средой $pH=9$. Отмечались практически выровненные между собой среднесортовые значения всхожести семян пшеницы в нейтральной – $96,9 \pm 2,25\%$ и щелочной средах – $96,8 \pm 2,04\%$.

Оценивая коэффициенты вариации лабораторной всхожести семян по сортам и линиям озимой пшеницы, можно отметить, что они были достаточно низкими и не превышали $5,5\%$. Это говорит о том, что сортовая реакция растений вида *Triticum aestivum* на кислотность среды на ранних этапах органогенеза существенно не проявлялась на лабораторной всхожести семян (таблица 1).

Установлены сортовые различия по всхожести семян озимой пшеницы, в зависимости от кислотности среды. Так сорта Рубежная, Инна, Элегия, Липецкая звезда, ЭН Фотон показали нулевой коэффициент вариации на измене-

ние уровня кислотности среды произрастания (лабораторная всхожесть семян этих сортов была одинаковой при pH=7, pH=5 и pH=9). Это наиболее устойчивые сорта к кислотности среды произрастания по показателю всхожести.

Таблица 1.

Энергия прорастания и лабораторная всхожесть семян озимой пшеницы в зависимости от уровня кислотности среды (n=6)

Варианты (сорта и линии*)	Энергия прорастания,% (3-е сутки)				Лабораторная всхожесть,% (7-е сутки)			
	(конт. pH=7) нейтрал	(pH=5) кислая	(pH=9) щелочная	коэфф. вариации, V%	(конт. pH=7) нейтрал	(pH=5) кислая	(pH=9) щелочная	коэфф. вариации, V%
Ангелина	68	88	92	18,5	92	88	96	4,3
Рубежная	68	88	80	13,2	96	92	96	2,2
Памяти Федина	62	80	68	12,5	98	88	92	5,6
Инна	64	96	76	19,8	86	84	92	5,2
Мера	88	96	92	4,3	100	96	100	2,1
Августина	80	92	88	7,5	96	96	96	0,0
Элегия	96	100	96	2,2	98	100	100	1,3
Липецкая звезда	96	88	96	4,5	100	92	96	4,2
СТРГ 806015	80	88	76	7,1	96	88	96	4,5
ЭН Тайгета	92	100	92	4,5	100	100	100	0,0
ЭН Цефей	68	100	92	20,9	98	100	100	1,3
ЭН Фотон	92	100	100	5,5	100	100	100	0,0
ЭН Альбирео	68	84	76	10,5	88	86	86	1,5
Эритросперум 69/21*	100	96	80	13,7	100	96	96	2,7
Эритросперум 298/17*	76	92	96	14,4	100	98	100	1,1
Эритросперум 74/21*	100	100	92	5,5	100	100	100	0,0
Эритросперум 223/21*	98	95	98	1,6	100	100	100	0,0
Среднесортовая, \bar{x}	82,1	93,1	87,6	-	96,9	94,4	96,8	-
Дисперсия, S^2	192,7	39,2	92,1	-	19,06	32,62	15,53	-
Станд.отклонение, S	13,98	6,26	9,60	-	4,37	5,71	3,94	-
Ошибка средней, $S_{\bar{x}}$	3,37	1,52	2,33	-	1,06	1,39	0,96	-
Относит.ошибка, $S_{x\%}$	4,10	1,63	2,66	-	1,09	1,47	0,99	-
Коэфф.вариации, $V\%$	16,90	6,73	10,96	-	4,50	6,05	4,07	-
Доверит.интервал $\bar{x} \pm t_{0,5} S_{\bar{x}}$	82,1± 7,14	93,1± 3,22	87,6± 4,94	-	96,9± 2,25	94,4± 2,95	96,8± 2,04	-

Незначительная вариация лабораторной всхожести семян ($V=1,15-1,32\%$), в зависимости от уровня кислотности среды, отмечена у сортов: Памяти Федина, Августина, ЭН Альбирео и перспективной линии Эритросперум 69/21. Более высокие показатели данного коэффициента ($V=4,17-5,43\%$), отмечались у сортов СТГ 806015, ЭН Тайгета, Ангелина и перспективных линий Эритросперум 298/17, Эритросперум 223/21. Эти сорта и линии сильнее реагировали на изменение рН среды, проявляли меньшую кислотоустойчивость.

В лабораторном опыте было установлено, что на начальном этапе онтогенеза среднесортная реакция растений вида *Triticum aestivum* на изменение кислотности среды стала проявляться на 7-ые сутки роста на показателях длины ростков и центральных зародышевых корешков (таблица 2).

Наибольшей вариацией ($V=11,6-24,2\%$) показателя длины ростка на изменение кислотности среды отличались сорта: Инна, Памяти Федина, ЭН Тайгета и линия Эритросперум 298/17. Они сильнее реагировали на изменение рН-среды водного раствора. Остальные сорта показали невысокую изменчивость длины ростка ($V=2,8-8,4\%$) от рН-среды.

По изменению коэффициентов вариации длины центральных корешков следует выделить сорта с высокой вариационной изменчивостью этого показателя ($V=20,2-22,6\%$): Ангелина, Августина, ЭН Тайгета и линию Эритросперум 298/17. Все остальные сорта и линии отличались средней вариацией ($V=11,1-18,6\%$) длины центрального корешка всходов под действием изменения кислотности среды.

Наибольшая среднесортная длина ростков и корешков на 7-е сутки – $11,39\pm 0,66$ см и $9,48\pm 0,99$ см, соответственно, отмечалась в вариантах с нейтральной (рН=7) средой проращивания семян. В то время как наименьшие показатели роста – $10,55\pm 0,64$ и $7,70\pm 0,53$ см были установлены в вариантах опыта с кислой средой (рН=5). Промежуточное положение по длине ростков (в среднем $10,95\pm 0,74$ см) и корешков (в среднем $9,06\pm 0,87$ см) имели всходы семян пшеницы, которые проращивались в щелочной среде (рН=9).

Аналогичная тенденция прослеживалась на показателях сырой биомассы ростков и корешков на 7-ые сутки онтогенеза пшеницы. В кислой среде отмечался наименьший среднесортный показатель сырой массы ростков – $7,81\pm 0,53$ г/100 всх. и сырой массы корешков – $3,73\pm 0,47$ г/100 всх. В то время как эти среднесортные биометрические показатели были выше на 11,0 и 8,5% (для ростков) и 48,6 и 42,3% (для корешков) в вариантах с рН=7 и рН=9 среды проращивания семян (таблица 3).

Таблица 2.

**Длина зародышевых ростков и корешков семян озимой пшеницы
в зависимости от уровня кислотности среды (n=6)**

Варианты (сорта и линии*)	Средняя длина (см) ростков на 7-е сутки				Средняя длина (см) центр. корешка на 7-е сутки			
	(конт. pH=7) нейтрал	(pH=5) кислая	(pH=9) щелочная	коэфф. ва- риации, V%	(конт. pH=7) нейтрал	(pH=5) кислая	(pH=9) щелочная	коэфф. ва- риации, V%
Ангелина	11,1	9,4	10,7	8,0	8,9	6,3	6,9	20,2
Рубежная	13,1	11,8	12,0	6,4	10,4	8,0	8,6	15,1
Памяти Федина	10,6	10,6	13,1	14,6	9,0	7,9	11,1	18,4
Инна	10,8	9,4	9,0	11,6	10,2	8,1	8,4	14,3
Мера	9,3	8,3	8,8	5,7	7,2	6,1	5,5	16,7
Августина	13,3	11,8	12,8	5,8	11,1	7,9	12,3	20,5
Элегия	11,3	10,2	10,7	5,2	9,7	7,3	8,4	14,4
Липецкая звезда	11,0	10,2	11,0	3,9	6,8	6,1	8,5	18,6
СТРГ 806015	10,8	10,2	10,6	2,8	8,6	7,1	9,7	15,0
ЭН Тайгета	11,1	10,5	8,8	14,2	10,4	8,5	7,2	22,6
ЭН Цефей	10,2	10,1	10,8	4,1	9,4	7,7	9,7	11,1
ЭН Фотон	9,6	9,3	9,9	3,1	9,6	7,6	9,4	11,4
ЭН Альбирео	12,5	12,2	12,7	2,0	8,1	9,0	9,9	12,3
Эритросперум 69/21*	12,7	11,7	12,4	4,0	12,2	8,9	9,8	17,9
Эритросперум 298/17*	13,9	13,1	9,3	24,2	13,9	9,8	10,7	20,6
Эритросперум 74/21*	11,3	10,7	12,5	8,4	9,7	7,6	10,4	14,7
Эритросперум 223/21*	11,0	9,8	11,0	6,0	6,0	7,0	7,6	14,4
Среднесортговая, \bar{x}	11,39	10,55	10,95	-	9,48	7,70	9,06	-
Дисперсия, S^2	1,66	1,51	2,12	-	3,73	1,04	2,85	-
Станд.отклонение, S	1,29	1,23	1,45	-	1,93	1,02	1,69	-
Ошибка средней, $S_{\bar{x}}$	0,31	0,30	0,35	-	0,47	0,25	0,41	-
Относит.ошибка, $S_{\bar{x}}\%$	2,75	2,82	3,22	-	4,94	3,21	4,53	-
Коэфф.вариации, $V\%$	11,30	11,63	13,29	-	20,40	13,24	18,65	-
Доверит.интервал $\bar{x} \pm t_{\alpha} S_{\bar{x}}$	11,39± 0,66	10,55± 0,64	10,95± 0,74	-	9,48± 0,99	7,70± 0,53	9,06± 0,87	-

Отмечалась высокая вариационная изменчивость ($V=24,35-27,64\%$) среднесортговой величины сырой массы корешков, в то время как показатель сырой массы ростков имел среднюю реакцию ($V=13,12-19,60\%$) на изменение кислотности среды проращивания семян.

Анализируя отзывчивость сортов и линий озимой пшеницы на кислотоустойчивость, можно отметить, что менее устойчивыми были линии Эритросперум 298/17 и Эритросперум 223/21, показавшие наибольший коэффициент вариации ($V=21,8$ и $22,5\%$).

Таблица 3.

Сырая масса зародышевых ростков и корешков семян озимой пшеницы в зависимости от уровня кислотности среды (n=6)

Варианты (сорта и линии*)	Средняя масса ростков на 7-е сутки, г/100 всходов				Средняя масса корешков на 7-е сутки, г/100 всходов			
	(конт. рН=7) нейтрал	(рН=5) кислая	(рН=9) щелочная	коэфф. вариации, V%	(конт. рН=7) нейтрал	(рН=5) кислая	(рН=9) щелочная	коэфф. вариации, V%
Ангелина	10,05	8,50	9,16	8,6	8,10	4,23	5,84	33,0
Рубежная	10,22	8,84	10,52	8,4	9,83	4,04	7,74	39,0
Памяти Федина	7,18	7,88	9,13	14,9	6,00	3,16	8,43	44,4
Инна	8,04	6,32	6,84	13,3	7,28	3,48	6,16	32,6
Мера	6,12	6,37	5,45	8,6	4,20	2,21	3,82	28,6
Августина	9,00	7,96	10,54	14,6	9,53	3,22	8,50	44,0
Элегия	8,60	7,20	7,48	10,5	5,84	3,44	5,13	24,2
Липецкая звезда	6,35	5,82	7,4	13,0	5,65	2,09	8,45	57,9
СТРГ 806015	7,83	7,45	7,88	2,8	5,96	3,00	4,83	31,3
ЭН Тайгета	7,94	8,83	6,95	12,0	6,63	4,04	5,05	25,9
ЭН Цефей	7,59	7,83	8,17	4,5	8,77	5,54	7,57	21,5
ЭН Фотон	8,00	7,65	7,73	2,6	7,05	4,39	5,68	23,4
ЭН Альбиreo	7,88	7,64	9,54	13,9	5,67	4,08	9,67	47,8
Эритросперум 69/21*	9,59	8,67	9,84	6,1	9,71	4,38	7,95	35,1
Эритросперум 298/17*	12,88	9,91	9,09	22,5	10,35	5,14	6,26	41,5
Эритросперум 74/21*	9,18	7,59	10,4	15,2	6,59	3,23	3,65	45,8
Эритросперум 223/21*	10,88	8,25	7,82	21,8	6,25	3,75	5,29	23,9
Среднесортная, \bar{x}	8,67	7,81	8,47	-	7,26	3,73	6,47	-
Дисперсия, S^2	2,88	1,05	2,13	-	3,25	0,83	3,20	-
Станд.отклонение, S	1,70	1,02	1,46	-	1,80	0,91	1,79	-
Ошибка средней, $S\bar{x}$	0,41	0,25	0,35	-	0,44	0,22	0,43	-
Относит.ошибка, $S\bar{x}_{\%}$	4,75	3,19	4,19	-	6,03	5,91	6,71	-
Коэфф.вариации, $V\%$	19,60	13,12	17,25	-	24,80	24,35	27,64	-
Доверит.интервал $\bar{x} \pm t_{0,5} S\bar{x}$	8,67± 0,87	7,81± 0,53	8,47± 0,74	-	7,26± 0,93	3,73± 0,47	6,47± 0,91	-

Сорта Памяти Федина, Инна, Августина, Элегия, Липецкая звезда, ЭН Тайгета, ЭН Альбирео и линия Эритросперум 74/21 показали среднюю реакцию ($V=10,5-15,2\%$) изменения массы ростков в разных pH-средах.

Наибольшую устойчивость ($V=2,6-8,6\%$) показателя массы ростков к изменению уровня кислотности среды обеспечили сорта: Ангелина, Рубежная, Мера, СТГ 806015, ЭН Цефей, ЭН Фотон и перспективная линия Эритросперум 69/21.

Все изучаемые сорта и линии показали очень высокие коэффициенты вариации ($V=21,5-57,9\%$) изменения сырой массы корешков под влиянием кислотности среды произрастания. По сравнению с ростками, зародышевые корешки наиболее сильно реагировали на изменение уровня pH среды, снижая в кислой среде сырую биомассу на 42,3-48,6%.

Лабораторные исследования, проведенные на проростках сортов и линий озимой пшеницы мягкой, показали, что на ранних этапах органогенеза проростки *Triticum aestivum* L. предпочитают нейтральную и щелочную реакцию pH среды произрастания, тогда как кислая среда может вызывать замедление интенсивности роста и уменьшение массы зародышевых корешков растений, что может в дальнейшем негативно сказаться на продуктивности растений пшеницы. Полученные результаты исследований могут иметь практическое применение при подборе сортов озимой пшеницы, пригодных для возделывания в конкретных почвенно-климатических условиях, в том числе на кислых почвах.

Выводы

1. На ранних этапах органогенеза сортовая реакция *Triticum aestivum* на кислотность среды существенно не проявлялась на всхожести семян ($V<5,5\%$), а изменялась по мере роста и развития зародышевых ростков и корешков. Отмечены наиболее устойчивые к кислотности среды сорта по показателю всхожести семян: Рубежная, Инна, Элегия, Липецкая звезда, ЭН Фотон.

2. Среднесортовая реакция *Triticum aestivum* на изменение кислотности среды проявлялась на 7-ые сутки онтогенеза на длине ростков и центральных зародышевых корешков. Высокую вариацию длины центрального корешка ($V=20,2-22,6\%$) на изменение pH-среды имели сорта: Ангелина, Августина, ЭН Тайгета и линия Эритросперум 298/17, они показали низкую кислотоустойчивость.

3. Наибольшая среднесортовая длина ростка – $11,39\pm 0,66$ см и центрального корешка – $9,48\pm 0,99$ см на 7-е сутки онтогенеза отмечалась в

вариантах с нейтральной (pH=7) средой проращивания семян. Наименьшие показатели длины ростка – 10,55±0,64 и корешка – 7,70±0,53 см были установлены в вариантах опыта с кислой средой (pH=5).

4. Зародышевые корешки, по сравнению с ростками, наиболее сильно реагировали на изменение уровня pH среды, снижая в кислой среде сырую биомассу на 42,3–48,6%. Все сорта и линии показали очень высокие коэффициенты вариации (V=21,5-57,9%) изменения сырой массы корешков под влиянием кислотности среды. Наибольшую кислотоустойчивость (V=2,6-8,6%) по показателю массы ростков показали сорта: Ангелина, Рубежная, Мера, СТГ 806015, ЭН Цефей, ЭН Фотон и перспективная линия Эритросперум 69/21.

5. Сорта и перспективные линии вида *Triticum aestivum* предпочитают нейтральную и щелочную (pH=7 и 9) реакцию среды произрастания, в то время как кислая среда (pH=5) вызывает замедление интенсивности роста и уменьшение массы зародышевых ростков и корешков растений.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Богомолова, Ю. А., Саков, А. П., & Ивенин, А. В. (2018). Влияние систем основной обработки светло-серой лесной почвы и удобрений на её агрохимические показатели в звене зернового севооборота Нижегородской области. *Агрохимический вестник*, (5), 32–39. <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2018-10042>
2. Грязькин, А. В., Гаврилова, О. И., & Гостев, К. В. (2023). Влияние воды, обработанной плазмой, на всхожесть семян сельскохозяйственных культур. *Аграрный научный журнал*, (7), 11–16. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i7pp11-16>
3. Гузенко, А. Ю., Солонкин, А. В., Беляев, А. И., & Семинченко, Е. В. (2023). Зависимость урожайности озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) от почвенно-климатических условий и различных обработок почвы в зоне светло-каштановых почв Волго-Донского междуречья Южного федерального округа Российской Федерации. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 15(2), 92–124. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-92-124>

4. Долгополова, Н. В., & Кондратова, Е. Ю. (2019). Действие удобрений на динамику пищевого режима и урожайность зерновых культур в севообороте. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, (2), 21–24.
5. Дьяченко, Е. Н. (2022). Минеральные удобрения, известь и сидерация в плодосменном севообороте в условиях Прибайкалья. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*, 52(6), 5–11. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-6-1>
6. Жаркова, С. В., Чевычелова, Н. В., & Новикова, С. С. (2021). Формирование показателей всхожести и энергии прорастания семян у сортов яровой мягкой пшеницы в разных средовых условиях. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, (5)(199), 5–10.
7. Иванченко, Т. В., & Шевяхова, Е. А. (2022). Приёмы защиты яровой пшеницы в засушливых условиях Нижнего Поволжья Российской Федерации. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 14(6), 356–371. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-356-371>
8. Капустина, И. С., Лазукин, А. В., & Нурминский, В. Н. (2023). Содержание жирных кислот и морфологические показатели проростков озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) из семян, обработанных озоном. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 15(6), 125–147. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-6-962>
9. Карманенко, Н. М. (2014). Сортовая реакция зерновых культур на низкие температуры, условия закисления и ионы алюминия. *Сельскохозяйственная биология*, 49(5), 66–77.
10. Лысенко, Н. С., Малышев, Л. Л., & Пузанский, Р. К. (2024). Биомаркеры алюмотолерантности у зимостойких форм *Triticum aestivum* L. из коллекции ВИР им. Н.И. Вавилова. *Сельскохозяйственная биология*, 59(1), 116–130. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.1.116rus>
11. Лыскова, И. В., & Лыскова, Т. В. (2023). Урожайность и качество сельскохозяйственных культур в зависимости от плодородия дерново-подзолистой почвы. *Агрохимия*, (10), 9–19. <https://doi.org/10.31857/S0002188123100101>
12. Перевозкина, М. Г., Еремин, Д. И., & Белкина, Р. И. (2017). Биологический тест-контроль антиоксидантов на семенах зерновых культур. *Достижения науки и техники АПК*, 31(1), 32–34.
13. Перфильев, Н. В., & Вьюшина, О. А. (2022). Агрохимическое состояние тёмно-серой лесной почвы при длительном воздействии систем основной обработки. *Плодородие*, (4)(127), 37–41. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.127.11>

14. Плотников, А. М. (2018). Агрехимические свойства чернозёма выщелоченного и продуктивность зерновых культур под влиянием удобрений и химических мелиорантов в условиях Зауралья. *Вестник Курганской ГСХА*, (4)(28), 30–35.
15. Просянкин, В. И., & Степанова, О. И. (2017). Влияние агрохимических параметров почв на урожайность яровой пшеницы в Кемеровской области. *Достижения науки и техники АПК*, 31(10), 32–35.
16. Романенко, А. А., Кильдюшкин, В. М., Солдатенко, А. Г., & Животовская, Е. Г. (2016). Влияние различных систем обработки почвы и удобрения на плодородие почвы и урожайность озимой пшеницы. *Достижения науки и техники АПК*, 30(3), 26–29.
17. Санеева, Е. А., Зорькина, О. В., & Нефедьева, Е. Э. (2022). Исследование фитотоксического действия тебуконазола, протиоконазола, флудиоксонила и препаратов на их основе на энергию прорастания и рост проростков пшеницы и горчицы белой. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 14(5), 166–186. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-5-166-186>
18. Смулов, С. И., Гапиенко, О. В., & Григоров, О. В. (2023). Влияние элементов биологизации на плодородие почвы и продуктивность звена севооборота в условиях Юго-Западной части Центрально-Чернозёмного региона. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, (4), 6–18.
19. Чекаев, Н. П., Блинохватова, Ю. В., Нуштаева, А. В., & Ногаев, В. О. (2022). Действие микробиологических удобрений и химических протравителей на посевные качества семян сельскохозяйственных культур. *Нива Поволжья*, (1)(61), 01003. <https://doi.org/10.36461/NP.2022.61.1.009>
20. Bhanbhro, N., Wang, H., Yang, H., Xu, X., Jakhar, A., Shalmani, A., ... & Chen, K. (2024). Revisiting the molecular mechanisms and adaptive strategies associated with drought stress tolerance in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Stress*, 11, 100298. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100298>
21. Kaur, A., Madhu, Sharma, A., Singh, K., & Upadhyay, S. (2024). Investigation of two-pore K⁺ (TPK) channels in *Triticum aestivum* L. suggests their role in stress response. *Heliyon*, 10, e27814. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27814>
22. Liu, W., Xu, F., Lv, T., Zhou, W., Chen, Y., Jin, C., ... & Lin, X. (2018). Spatial responses of antioxidative system to aluminum stress in roots of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. *Science of the Total Environment*, 627, 462–469. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.021>
23. Ma, J. F., Ryan, P. R., & Delhaize, E. (2001). Aluminum tolerance in plants and the complexing role of organic acids. *Trends in Plant Science*, 6(6), 273–278. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(01\)01961-6](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(01)01961-6)

24. Sarker, S., Ghosh, S., Hossain, M., Ghosh, R., Razia, S., Sushmoy, D., & Noor, M. (2019). Impact of aluminium (Al^{3+}) stress on germination and seedling growth of five wheat genotypes. *SAARC Journal of Agriculture*, 17(1), 65–76. <https://doi.org/10.3329/sja.v17i1.42762>

References

1. Bogomolova, Y. A., Sakov, A. P., & Ivienin, A. V. (2018). The influence of cultivation systems and fertilizers on agronomic indicators of light-grey forest soil in cereal crop rotations in the Nizhny Novgorod region. *Agrochemical Bulletin*, (5), 32–39. <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2018-10042>
2. Gryazkin, A. V., Gavrilova, O. I., & Gostev, K. V. (2023). The effect of plasma-treated water on the germination of agricultural crop seeds. *Agrarian Scientific Journal*, (7), 11–16. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i7pp11-16>
3. Gruzhenko, A. Yu., Solonkin, A. V., Belyaev, A. I., & Semnichenko, E. V. (2023). Yield dependence of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) on soil-climate conditions and soil processing methods in the light chestnut soils of the Volga-Don interfluvium, Southern Federal District, Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 15(2), 92–124. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-92-124>
4. Dolgopolova, N. V., & Kondratova, E. Yu. (2019). The effect of fertilizers on the dynamics of nutrient availability and crop yields in crop rotations. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, (2), 21–24.
5. D'yachenko, E. N. (2022). Mineral fertilizers, liming, and green manuring in crop rotation under conditions of Lake Baikal region. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*, 52(6), 5–11. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-6-1>
6. Zharkova, S. V., Chevchelova, N. V., & Novikova, S. S. (2021). Seed germination and vigor performance of spring bread wheat cultivars under diverse environmental conditions. *Bulletin of Altai State Agricultural University*, (5)(199), 5–10.
7. Ivanchenko, T. V., & Shevyakhova, E. A. (2022). Protection practices for spring wheat in dryland farming conditions of the Lower Volga region, Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 14(6), 356–371. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-356-371>
8. Kapustina, I. S., Lazukin, A. V., & Nurminsky, V. N. (2023). Fatty acid content and morphometric characteristics of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings from ozone-treated seeds. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 15(6), 125–147. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-6-962>
9. Karmanenko, N. M. (2014). Variety-specific response of cereal crops to low temperatures, soil acidification, and aluminum ions. *Agricultural Biology*, 49(5), 66–77.

10. Lysenko, N. S., Malyshev, L. L., & Puzansky, R. K. (2024). Biomarkers of aluminum tolerance in winter-resistant forms of *Triticum aestivum* L. from the N.I. Vavilov Institute Collection. *Agricultural Biology*, 59(1), 116–130. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.1.116rus>
11. Lyskova, I. V., & Lyskova, T. V. (2023). Crop yield and quality depending on the fertility of sod-podzol soil. *Agrochemistry*, (10), 9–19. <https://doi.org/10.31857/S0002188123100101>
12. Perevozkina, M. G., Eremin, D. I., & Belkina, R. I. (2017). Biological testing of antioxidants in cereal seeds. *Achievements of Science and Technology in Agroindustrial Complex*, 31(1), 32–34.
13. Perfiliev, N. V., & Vyushina, O. A. (2022). Long-term impact of primary soil tillage systems on the agrochemical state of dark grey forest soil. *Fertility*, (4) (127), 37–41. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.127.11>
14. Plotnikov, A. M. (2018). Agrochemical properties of leached black earth and productivity of cereal crops influenced by fertilizers and chemical amendments in the Urals region. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*, (4)(28), 30–35.
15. Prosyannikov, V. I., & Stepanova, O. I. (2017). Influence of soil agrochemical parameters on spring wheat yield in Kemerovo region. *Achievements of Science and Technology in Agroindustrial Complex*, 31(10), 32–35.
16. Romanenko, A. A., Kil'dyushkin, V. M., Soldatenko, A. G., & Zhivotovskaya, E. G. (2016). Influence of different soil cultivation methods and fertilization on soil fertility and winter wheat yield. *Achievements of Science and Technology in Agroindustrial Complex*, 30(3), 26–29.
17. Saneeva, E. A., Zorkina, O. V., & Neffedyeva, E. E. (2022). Phytotoxic effects of tebuconazole, prothioconazole, fludioxonil, and derived preparations on germination and root growth of wheat and white mustard. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 14(5), 166–186. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-5-166-186>
18. Smurov, S. I., Gapienko, O. V., & Grigorov, O. V. (2023). Influence of biological components on soil fertility and productivity of crop rotation in the southwestern part of the Central Black Earth region. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, (4), 6–18.
19. Chekaev, N. P., Blionokhatova, Y. V., Nushtaeva, A. V., & Nogaev, V. O. (2022). Action of microbial fertilizers and chemical seed dressings on planting qualities of agricultural crop seeds. *Volga Region Farmland*, (1)(61), 01003. <https://doi.org/10.36461/NP.2022.61.1.009>
20. Bhanbhro, N., Wang, H., Yang, H., Xu, X., Jakhar, A., Shalmani, A., ... & Chen, K. (2024). Revisiting the molecular mechanisms and adaptive strategies asso-

- ciated with drought stress tolerance in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Stress*, 11, 100298. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100298>
21. Kaur, A., Madhu, Sharma, A., Singh, K., & Upadhyay, S. (2024). Investigation of two-pore K⁺ (TPK) channels in *Triticum aestivum* L. suggests their role in stress response. *Heliyon*, 10, e27814. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27814>
 22. Liu, W., Xu, F., Lv, T., Zhou, W., Chen, Y., Jin, C., ... & Lin, X. (2018). Spatial responses of antioxidative system to aluminum stress in roots of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. *Science of the Total Environment*, 627, 462–469. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.021>
 23. Ma, J. F., Ryan, P. R., & Delhaize, E. (2001). Aluminum tolerance in plants and the complexing role of organic acids. *Trends in Plant Science*, 6(6), 273–278. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(01\)01961-6](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(01)01961-6)
 24. Sarker, S., Ghosh, S., Hossain, M., Ghosh, R., Razia, S., Sushmoy, D., & Noor, M. (2019). Impact of aluminium (Al³⁺) stress on germination and seedling growth of five wheat genotypes. *SAARC Journal of Agriculture*, 17(1), 65–76. <https://doi.org/10.3329/sja.v17i1.42762>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Мельникова Ольга Владимировна, д-р с.-х. наук, профессор

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Брянский государственный аграрный университет»
ул. Советская, 2а, Выгоничский район, Брянская область, 243365,
Российская Федерация
torikova1999@mail.ru*

Репникова Валентина Ивановна, аспирант

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Брянский государственный аграрный университет»
ул. Советская, 2а, Выгоничский район, Брянская область, 243365,
Российская Федерация
v.i.repnikova@mail.ru*

Ториков Владимир Ефимович, д-р с.-х. наук, профессор

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Брянский государственный аграрный университет»
ул. Советская, 2а, Выгоничский район, Брянская область, 243365,
Российская Федерация
torikov@bgsha.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga V. Melnikova, D.Sc. (Agricultural Sciences), Professor

*Bryansk State Agrarian University
2a, Sovetskaya Str., Vygonichsky district, Bryansk region, 243365, Russian Federation
torikova1999@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8558-1948>
SPIN-code: 3448-9581
Scopus Author ID: 57073664700*

Valentina I. Repnikova, PhD student (Agricultural Sciences)

*Bryansk State Agrarian University
2a, Sovetskaya Str., Vygonichsky district, Bryansk region, 243365, Russian Federation
v.i.repnikova@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6465-129X>*

Vladimir E. Torikov, D.Sc. (Agricultural Sciences), Professor

*Bryansk State Agrarian University
2a, Sovetskaya Str., Vygonichsky district, Bryansk region, 243365, Russian Federation
torikov@bgsha.com
SPIN-code: 2202-5597
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0317-6410>
Scopus Author ID: 57200094615*

Поступила 15.05.2024

После рецензирования 13.07.2024

Принята 05.08.2024

Received 15.05.2024

Revised 13.07.2024

Accepted 05.08.2024