

Влияние салициловой кислоты на всхожесть и морфологические показатели сортов яровой твердой пшеницы на фоне осмотического стресса

✉ Иванова Е.А., Бесалиев И.Н.

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий
Российской академии наук
Оренбург, Россия
✉ e-mail: bialena201273@gmail.com

Целью исследований являлось изучение посевных качеств семян, морфологических показателей проростков различных сортов яровой пшеницы при предпосевной обработке семян салициловой кислотой в условиях достаточного увлажнения и на фоне осмотического стресса. Материалом для исследований послужили семена сортов пшеницы яровой твердой (*Triticum durum* Desf.) (Безенчукская 210, Оренбургская 10, Безенчукская золотистая, Кремень), салициловая кислота, ПЭГ 6000 (полиэтиленгликоль). Обработка семян салициловой кислотой на стадии ювенильного развития не оказала существенного влияния на показатели энергии прорастания и всхожести семян, но способствовала увеличению массы корешков у сортов Кремень (на 15%), Безенчукская 210 (на 13,3%), Оренбургская 10, Безенчукская золотистая (на 1,8%). В варианте с применением полиэтиленгликоля показатели посевных качеств семян снизились на 5–10%. У сорта Оренбургская 10 снижение составило по энергии прорастания и всхожести соответственно 8 и 10%, у остальных сортов – 5–7%. Применение салициловой кислоты нивелировала негативное влияние искусственно созданной засухи на посевные качества семян и морфологию проростков. В условиях искусственно созданной засухи обработка салициловой кислотой способствовала увеличению среднего числа корешков на 2,9% (кроме сорта Оренбургская 10) и массы корешков одного проростка от 6,2 до 18,7% (исключение – сорт Кремень); средней длины и массы ростков на сорте Безенчукская золотистая на 33,5 и 42,8% соответственно и на сорте Оренбургская 10 на 18,3 и 30,7% соответственно. У остальных сортов длина ростков увеличилась на 2,0 и 8,8%.

Ключевые слова: пшеница твердая (*Triticum durum* Desf.), салициловая кислота, полиэтиленгликоль (ПЭГ), масса ростков, число корешков, масса корешков

Influence of salicylic acid on germination and morphological parameters of spring durum wheat varieties under osmotic stress

✉ Ivanova E.A., Besaliev I.N.

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies
of the Russian Academy of Sciences
Orenburg, Russia
✉ e-mail: bialena201273@gmail.com

The purpose of the research was to study the sowing qualities of seeds, morphological parameters of seedlings of various varieties of spring wheat during pre-sowing treatment of seeds with salicylic acid under conditions of sufficient moisture and against the background of osmotic stress. The materials for the research were: seeds of durum spring wheat varieties (*Triticum durum* Desf.) (Bezenchukskaya 210, Orenburgskaya 10, Bezenchukskaya zolotistaya, Kremen) salicylic acid, PEG 6000 (polyethylene glycol). Seed treatment with salicylic acid at the stage of juvenile development did not significantly affect the energy of seed sprouting and germination, but contributed to an increase in root weight in the varieties Kremen (by 15%), Bezenchukskaya 210 (by 13.3%), Orenburg 10, Bezenchukskaya zolotistaya (by 1.8%). In the variant with the use of polyethylene glycol, the indicators of seed sowing qualities decreased by 5–10%. In the Orenburg 10 variety, the decrease was 8 and 10% in sprouting energy and germination, respectively, and 5–7% in other varieties. The use of salicylic acid offset the negative impact of artificially created drought on the sowing qualities of seeds and the morphology of seedlings. Under artificially created drought conditions, treatment with salicylic acid

contributed to an increase in the average number of rootlets by 2.9% (except for the Orenburgskaya 10 variety) and the rootlet weight of 1 sprout from 6.2% to 18.7% (except for the Kremen variety); the average length and weight of sprouts on the Bezenchukskaya zolotistaya variety by 33.5 and 42.8%, respectively, and on the Orenburgskaya 10 variety by 18.3 and 30.7%, respectively. For the remaining varieties, the sprout length increased by 2.0 and 8.8%.

Keywords: *Triticum durum* Desf (durum wheat), salicylic acid, polyethylene glycol (PEG), sprout mass, number of rootlets, rootlet weight

Для цитирования: Иванова Е.А., Бесалиев И.Н. Влияние салициловой кислоты на всхожесть и морфологические показатели сортов яровой твердой пшеницы на фоне осмотического стресса // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55. № 7. С. 14–21. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-7-2>

For citation: Ivanova E.A., Besaliev I.N. Influence of salicylic acid on germination and morphological parameters of spring durum wheat varieties under osmotic stress. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2025, vol. 55, no. 7, pp. 14–21. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-7-2>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена в соответствии с ГЗ FNWZ 2022-0014.

Acknowledgments

The work was carried out in accordance with the FNWZ 2022-0014 State Program.

ВВЕДЕНИЕ

Территория исследования расположена в пределах степной зоны Южного Урала на юго-восточной окраине европейской части России. Зона характеризуется резко континентальным климатом, сухим жарким летом с неустойчивым и недостаточным увлажнением, низкими отрицательными показателями температуры в зимний период. Помимо засушливости территория данной зоны отличается наличием засоленных почв. Как известно, излишнее количество солей в почве приводит к снижению морфологических показателей проростков. В то же время установлена сортовая специфика на действие вариантов засоления.

Так, исследованиями Л.И. Федоревой и др. [1] установлена более высокая солеустойчивость сорта яровой пшеницы Оренбургская 22, чем сорта Учитель. Для сельского хозяйства Оренбургского региона в качестве адаптационных мер рассматриваются внедрение влагосберегающих технологий, расширение посевов засухоустойчивых культур, расширение орошаемых площадей. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур сосредоточены

на использовании регуляторов роста и биологически активных веществ, безопасных для здоровья человека и окружающей среды. Многочисленные исследования показали, что экзогенное применение различных регуляторов роста, таких как гормоны, антагонисты гормонов, полиамины, питательные вещества, антиоксиданты и другие, способствует повышению засухоустойчивости сельскохозяйственных культур [2, 3].

Одним из допустимых способов улучшения жизнедеятельности растений и повышения их продуктивности в неблагоприятных условиях внешней среды является предпосевная обработка семян [4, 5].

Салициловая кислота (СК) является безопасным для жизнедеятельности человека и окружающей среды фитогормоном, который особенно важен для адаптации растений к действию стрессовых факторов [6]. СК способна повышать дыхательную активность и устойчивость к действию цианидов за счет выделения тепла. Ее синтез начинается с превращения фенилаланина в транс-коричную кислоту, которая катализируется ферментом фенилаланин-аммоний-лиазой. Далее коричная кислота превращается в бензойную или орто-кумаровую кислоту, после чего образу-

ется производное СК. Она относится к соединениям-адаптогенам, т.е., с одной стороны, выполняет роль сигнальной молекулы, а с другой – стрессового фитогормона. Она влияет на прорастание семян, рост вегетативной части растений, старение, цветение и урожайность плодов.

Наблюдается активация ростовых процессов при низкой концентрации и ингибирование при высоких концентрациях.

По данным А.В. Якуниной [7], салициловая кислота низких концентраций повышает всхожесть семян, применение более высоких концентраций (0,05–0,50 мМ) увеличивает размеры или массу проростков. Экзогенное использование СК оказывает влияние на широкий спектр физиологических процессов в растениях, включая фотосинтез и скорость роста. Ростостимулирующий эффект низких концентраций СК был зафиксирован для таких культур, как бамя, кукуруза, пшеница, томат, горчица [8].

В литературе приводятся результаты экспериментов, указывающих на роль СК в адаптивных реакциях растений на абиотические стрессы: устойчивость к засухе, засолению, тяжелым металлам, к действию низких температур [9].

Совместное применение *Pseudomonas putida* и салициловой кислоты позволяет развивать стрессоустойчивость у растений, а также улучшать рост растений. Они оказывают значительное воздействие на прорастание и морфологические, физиологические и биохимические параметры [10]. Применение биоугля вместе с салициловой кислотой рекомендовано в качестве эффективной стратегии для смягчения вредного влияния солевого стресса на сою [11]. Предпосевная обработка семян пшеницы СК способствует снижению потерь воды и уменьшению проницаемости клеточных мембран в условиях водного дефицита, повышает засухоустойчивость проростков пшеницы. Засуха влияет на урожайность и качество зерна. Нарушения физиолого-биохимических процессов отражаются на росте, анатомии и морфологии растения. Для имитации недостатка влаги широко используется полимерный препарат полиэти-

ленгликоль (ПЭГ), который практически не проникает в ткани растений. Молекулы ПЭГ 6000 инертные, нетоксичные, достаточно большие, чтобы быть абсорбированными растениями, и не разрушают структуру воды в течение периода постановки эксперимента. Для определения засухоустойчивости генотипов этот осмотик используют на разных культурах, таких как просо, горох, пшеница, сорго, ячмень [12, 13].

Цель исследований – изучение посевных качеств семян, морфологических показателей проростков различных сортов яровой твердой пшеницы при предпосевной обработке семян салициловой кислотой в условиях достаточного увлажнения и на фоне осмотического стресса.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В опыте изучались два фактора:

1. Фактор А – сорта пшеницы яровой твердой:

- Оренбургская 10 – контроль;
- Безенчукская 210;
- Безенчукская золотистая;
- Кремень.

2. Фактор В – предпосевная обработка семян:

- дистиллированная вода – контроль – 10 л/т семян;
- салициловая кислота в концентрации 0,05 мМ;
- полиэтиленгликоль (ПЭГ 6000) с осмотическим давлением 0,15 МПа;
- салициловая кислота (0,05 мМ) + ПЭГ 6000 (0,15 МПа).

Семена пшеницы предварительно замачивали в течение 3 ч в растворе СК. Для приготовления рабочего раствора салициловую кислоту растворяли в дистиллированной воде, нагретой до температуры 80 °С.

Полиэтиленгликоль (ПЭГ 6000) – полимер на основе этиленгликоля с молярной массой в 6000 единиц в виде воскообразных чешуек или плотной массы белого цвета. ПЭГ 6000 – 100 г/л соответствует 0,15 МПа.

Семена проращивали в растительных между слоями фильтровальной бумаги в термостате ТСО-1М при температуре 20 ± 2 °С в темноте, предварительно обработав их изучаемым

мыми препаратами согласно схеме опыта в четырехкратной повторности по 25 семян в каждом повторении. На 3-и сутки проводили подсчет энергии прорастания, на 7-е – подсчет всхожести (ГОСТ 12038–84). Одновременно с определением энергии прорастания проводили подсчет числа корешков, их массы и длины, количества и массы ростков. Оценка достоверности выборочных средних проведена по Б.А. Доспехову.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных лабораторных опытов установлено, что обработка семян салициловой кислотой на стадии ювенильного развития не оказала существенного влияния на показатели энергии прорастания и всхожести семян. Можно отметить незначительное (на 1–2%) повышение данных показателей у сортов Кремень и Безенчукская золотистая по сравнению с контрольными образцами.

В варианте с применением полиэтиленгликоля показатели посевных качеств семян значительно снизились. У сорта Оренбургская 10 снижение составило по энергии прорастания и всхожести соответственно 8 и 10%, у остальных сортов снижение было в пределах 5–7%.

Совместное применение салициловой кислоты и полиэтиленгликоля увеличило изучаемые показатели качества семян относительно варианта с применением ПЭГ 6000. У сортов Оренбургская 10 и Безенчукская золотистая энергия прорастания и всхожесть увеличились соответственно на 2 и 5%. У сортов Кремень и Безенчукская 210 посевные качества повысились незначительно. Данные представлены в табл. 1.

Получено существенное увеличение средней длины корешка проростков под действием салициловой кислоты по сравнению с контролем у сортов Кремень и Безенчукская 210 (на 15,0 и 13,3% соответственно). У сортов Оренбургская 10 и Безенчукская золотистая показатели прироста длины корешка по данному признаку существенно ниже (на 1,8%). Подавляющее действие полиэтиленгликоля на среднюю длину корешка проявилось су-

щественно у всех рассматриваемых сортов и снижение составило в порядке убывания: сорт Безенчукская 210 (26,0%), Безенчукская золотистая (18,0%), Оренбургская (10,8%) и Кремень (10,2%).

Обработка семян яровой твердой пшеницы салициловой кислотой в основном не повлияла на массу корешков и среднее число корешков одного проростка. Незначительное увеличение массы корешков одного проростка отмечено на сортах Безенчукская 210 (9,8%) и Оренбургская 10 (4,0%). В вариантах с применением полиэтиленгликоля среднее число корешков одного проростка у всех изучаемых сортов в сравнении с контролем

Табл. 1. Всхожесть и энергия прорастания семян при использовании салициловой кислоты и ПЭГ 6000, %

Table 1. Germination and energy of seed germination when using salicylic acid and PEG 6000, %

Сорт/вариант опыта	Энергия прорастания	Всхожесть
<i>Кремень</i>		
Контроль	95	96
Салициловая кислота	97	97
ПЭГ 6000	89	90
Салициловая кислота + ПЭГ 6000	90	91
<i>Оренбургская 10</i>		
Контроль	93	94
Салициловая кислота	94	94
ПЭГ 6000	83	86
Салициловая кислота + ПЭГ 6000	85	91
<i>Безенчукская 210</i>		
Контроль	95	97
Салициловая кислота	96	97
ПЭГ 6000	89	90
Салициловая кислота + ПЭГ 6000	91	92
<i>Безенчукская золотистая</i>		
Контроль	93	95
Салициловая кислота	94	97
ПЭГ 6000	88	90
Салициловая кислота + ПЭГ 6000	90	95
НСР _{0,5}	3,88	2,39
НСР _{0,5} А (сорт)	2,74	1,69
НСР _{0,5} В (вариант опыта)	2,74	1,69
НСР _{0,5} АВ	2,74	1,69

ными вариантами значительно снизилось. В условиях индуцированной засухи применение салициловой кислоты способствовало увеличению среднего числа корешков на 2,9% (кроме сорта Оренбургская 10) и массы корешков одного проростка от 6,2 до 18,7% (исключение – сорт Кремень). Данные представлены в табл. 2.

Обработка семян твердой пшеницы салициловой кислотой способствовала увеличению длины и массы ростков. Наибольший прирост массы ростков получен на сортах Безенчукская 210 (26,1%) и Кремень (11,5%).

Умеренное увеличение массы ростков наблюдалось на сортах Оренбургская 10 (4,0%) и Безенчукская золотистая (6,7%) по сравнению с контрольными образцами. Увеличение длины ростков отмечено на сортах Кремень, Безенчукская 210 и Безенчукская золотистая, в то время как применение полиэтиленгликоля способствовало снижению средней длины ростков на 52,7–66,2% и массы ростков на 46,7–69,2% по сравнению с контролем.

В условиях искусственно созданной засухи обработка салициловой кислотой способствовала увеличению средней длины и массы

Табл. 2. Показатели корневой системы 3-дневных проростков сортов яровой твердой пшеницы
Table 2. Indicators of the root system of 3-day-old seedlings of spring durum wheat varieties

Сорт/вариант опыта	Средняя длина одного корешка, см	Среднее число корешков одного проростка, шт.	Масса корешков одного проростка, г
<i>Кремень</i>			
Контроль	4,07 ± 0,15	4,3 ± 0,37	0,30 ± 0,02
Салициловая кислота	4,68 ± 0,14	4,3 ± 0,19	0,30 ± 0,01
ПЭГ 6000	3,63 ± 0,16	3,5 ± 0,28	0,20 ± 0,04
Салициловая кислота + ПЭГ 6000	3,83 ± 0,15	3,6 ± 0,18	0,20 ± 0,01
<i>Оренбургская 10</i>			
Контроль	4,52 ± 0,16	4,5 ± 0,29	0,25 ± 0,02
Салициловая кислота	4,60 ± 0,12	4,5 ± 0,23	0,26 ± 0,03
ПЭГ 6000	4,06 ± 0,14	3,4 ± 0,55	0,16 ± 0,03
Салициловая кислота + ПЭГ 6000	4,26 ± 0,13	3,4 ± 0,18	0,19 ± 0,05
<i>Безенчукская 210</i>			
Контроль	3,77 ± 0,12	4,8 ± 0,13	0,31 ± 0,04
Салициловая кислота	4,27 ± 0,13	4,9 ± 0,04	0,34 ± 0,01
ПЭГ 6000	2,79 ± 0,11	4,2 ± 0,23	0,16 ± 0,02
Салициловая кислота + ПЭГ 6000	2,92 ± 0,13	4,3 ± 0,46	0,17 ± 0,06
<i>Безенчукская золотистая</i>			
Контроль	4,50 ± 0,15	4,8 ± 0,28	0,35 ± 0,04
Салициловая кислота	4,58 ± 0,11	4,8 ± 0,18	0,35 ± 0,06
ПЭГ 6000	3,69 ± 0,15	4,4 ± 0,32	0,22 ± 0,02
Салициловая кислота + ПЭГ 6000	3,84 ± 0,13	4,5 ± 0,08	0,25 ± 0,02
НСР _{0,5}	-	0,26	0,26
НСР _{0,5} А (сорт)		0,18	0,18
НСР _{0,5} В (вариант опыта)		0,18	0,18
НСР _{0,5} АВ		0,18	0,18

Табл. 3. Показатели проростков яровой твердой пшеницы на фоне контрольного и опытных вариантов

Table 3. Indicators of spring durum wheat seedlings against the background of control and experimental variants

Сорт/вариант опыта	Средняя длина ростка, см	Средняя масса ростка, г
<i>Кремень</i>		
Контроль	2,40 ± 0,08	0,26 ± 0,02
Салициловая кислота	2,71 ± 0,09	0,29 ± 0,04
ПЭГ 6000	1,59 ± 0,08	0,18 ± 0,05
Салициловая кислота + ПЭГ 6000	1,73 ± 0,11	0,19 ± 0,02
<i>Оренбургская 10</i>		
Контроль	2,83 ± 0,08	0,25 ± 0,01
Салициловая кислота	2,83 ± 0,08	0,26 ± 0,02
ПЭГ 6000	1,64 ± 0,10	0,13 ± 0,01
Салициловая кислота + ПЭГ 6000	1,94 ± 0,09	0,17 ± 0,03
<i>Безенчукская 210</i>		
Контроль	2,01 ± 0,04	0,23 ± 0,03
Салициловая кислота	2,57 ± 0,05	0,29 ± 0,01
ПЭГ 6000	1,47 ± 0,06	0,12 ± 0,01
Салициловая кислота + ПЭГ 6000	1,50 ± 0,08	0,15 ± 0,03
<i>Безенчукская золотистая</i>		
Контроль	2,79 ± 0,06	0,30 ± 0,02
Салициловая кислота	2,93 ± 0,05	0,32 ± 0,04
ПЭГ 6000	1,61 ± 0,08	0,14 ± 0,03
Салициловая кислота + ПЭГ 6000	2,15 ± 0,08	0,20 ± 0,03
НСР _{0,5}		0,03
НСР _{0,5} А (сорт)		0,02
НСР _{0,5} В (вариант опыта)		0,02
НСР _{0,5} АВ	-	0,02

ростков относительно варианта с применением ПЭГ 6000 на сорте Безенчукская золотистая на 33,5 и 42,8% соответственно и на сорте Оренбургская 10 на 18,3 и 30,7% соответственно. У остальных сортов длина ростков увеличилась на 2,0 и 8,8%, а средняя масса — на 5,5 и 7,1%. Данные представлены в табл. 3.

Расчет доли влияния изученных факторов на изменение показателей качества семян и их проростков показал, что наибольший вклад вносит фактор «вариант обработки» семян различными препаратами и составляет от 36,57 (энергия прорастания) до 73,40% (масса ростков). Следует заметить, что по показателю число корешков значителен вклад фактор «сорт».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях индуцированной засухи наблюдается снижение энергии прорастания, всхожести, а также уменьшение длины ростков и их массы, длины корней. Применение салициловой кислоты снижает негативное влияние искусственно созданной засухи на посевные качества семян и морфологию проростков пшеницы твердой. При этом повышаются энергия прорастания и всхожесть семян изучаемых сортов на 1–5%, увеличиваются средняя длина и масса ростков на сорте Безенчукская золотистая на 33,5 и 42,8% соответственно и на сорте Оренбургская 10 – на 18,3 и 30,7% соответственно. У остальных сортов длина ростков увеличилась на 2,0 и 8,8%, средняя масса – на 5,5 и 7,1%, среднее число

корешков – на 2,9% (кроме сорта Оренбургская 10) и масса корешков одного проростка – на 6,2–18,7% (исключение – сорт Кремень).

Наибольший вклад в изменение показателей качества семян и их проростков вносит фактор обработки семян салициловой кислотой, ПЭГ 6000. Показатели составили от 36,57% по энергии прорастания до 73,40% по массе ростков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fedoreyeva L.I., Besaliev I.N., Kononenko N.V. Salt Tolerance of Conditions // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2021. Vol. 3 (2). P. 1–8. DOI: 10.36266/JSSPP/138.
2. Hassan Nemat, Heba Ebeed, Alshafei Aljaarany. Exogenous application of spermine and putrescine mitigate adversities of drought stress in wheat by protecting membranes and chloroplast ultra-structure // *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2020. Vol. 26 (2). P. 233–245.
3. Huan Li, Wang Jin-Qiang, Liu Qing. Photosynthesis product allocation and yield in sweet potato with spraying exogenous hormones under drought stress // *Journal of Plant Physiology*. 2020. Vol. 253. P. 153265. DOI: 10.1016/j.jplph.2020.153265.
4. Pavol Findura, Ivana Šindelková, Robert Rusinek, Hamed Karami, Marek Gancarz, Petr Bartoš. Determination of the influence of biostimulants on soil properties and field crop yields // *International Agrophysics*. 2022. N 36 (4). P. 351–359. DOI: 10.31545/intagr/155955.
5. Воронкова Н.А., Балабанова Н.Ф., Волкова В.А., Цыганова Н.А. Применение ростостимуляторов при возделывании яровой мягкой пшеницы // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 10. С. 73–77.
6. Колупаев Ю.Е., Ястреб Т.О., Поляков А.К., Дмитриев А.П. Салициловая кислота и формирование адаптивных реакций растений на абиотические стрессоры: роль компонентов сигнальной сети // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2021. № 55. С. 135–165. DOI: 10.17223/19988591/55/8.
7. Якунина, А.В., Сеницына Ю.В. Влияние салициловой и янтарной кислот разных концентраций на всхожесть и морфометрические показатели растений овса посевного *Avena sativa* L. и пшеницы твердой *Triticum durum* L. // *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*. 2023. Т. 16 (1). С. 54–63.

8. Sabry M. Youssef, Antonio López-Orenes, María A. Ferrer, Antonio A. Calderon. Salicylic-Acid-Regulated Antioxidant Capacity Contributes to Growth Improvement of Okra (*Abelmoschus esculentus* cv. Red Balady) // *Agronomy*. 2022. Vol. 12 (1). P. 168. DOI: 10.3390/agronomy12010168.
9. Saleem M., Fariduddin Q., Janda T. Multifaceted role of salicylic acid in combating cold stress in plants: A review // *Journal of Plant Growth Regulation*. 2020. DOI: 10.1007/s00344-020-10152-x.
10. Sundas Tanveer, Nosheen Akhtar, Noshin Ilyas, RZ Sayyed, Betty Natalie Fitriatin, Kahkashan Perveen, Najat A Bukhari. Interactive effects of *Pseudomonas putida* and salicylic acid for mitigating drought tolerance in canola (*Brassica napus* L.) // *Heliyon*. 2023. Vol. 9.9 (3). DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14193.
11. Mohammad Mehdi Alizadeh, Mahyar Garami, Parastoo Majidian, Hamid Reza Ghorbani. The potential application of biochar and salicylic acid to alleviate salt stress in soybean (*Glycine max* L.) // *Heliyon*. 2024 Feb 19. Vol. 10 (4). P. e26677. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e26677.
12. Горлачева О.В., Горбачева С.Н., Лютенко В.С., Анцыферова О.В. Подбор концентрации осмотика ПЭГ 6000 для определения засухоустойчивости генотипов проса в период прорастания семян // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021. Vol. 182 (3). С. 30–36. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-30-36.
13. Панфилов А.Л., Абдрашитов Р.Р. Влияние биоудобрений и осмотического стресса на морфологические показатели проростков ярового ячменя // *Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство*. 2022. Vol. 17 (4). С. 425–436. DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-4-425-436.

REFERENCES

1. Fedoreyeva L.I., Besaliev I.N., Kononenko N.V. Salt Tolerance of Conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2021, vol. 3 (2), pp. 1–8. DOI: 10.36266/JSSPP/138.
2. Hassan Nemat, Heba Ebeed, Alshafei Aljaarany. Exogenous application of spermine and putrescine mitigate adversities of drought stress in wheat by protecting membranes and chloroplast ultra-structure. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2020, vol. 26 (2), pp. 233–245.
3. Huan Li, Wang Jin-Qiang, Liu Qing. Photosynthesis product allocation and yield in sweet potato

- with spraying exogenous hormones under drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 2020, vol. 253, p. 153265. DOI: 10.1016/j.jplph.2020.153265.
4. Pavol Findura, Ivana Šindelková, Robert Rusinek, Hamed Karami, Marek Gancarz, Petr Bartoš. Determination of the influence of bio-stimulants on soil properties and field crop yields. *International Agrophysics*, 2022, no. 36 (4), pp. 351–359. DOI: 10.31545/intagr/155955.
 5. Voronkova N.A., Balabanova N.F., Volkova V.A., Tsyganova N.A. The use of growth stimulants in the cultivation of spring soft wheat. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2020, vol. 34, no. 10, pp. 73–77. (In Russian).
 6. Kolupaev Yu.E., Yastreb T.O., Polyakov A.K., Dmitriev A.P. Salicylic acid and formation of plant adaptive responses to abiotic stressors: role of signaling network components. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*, 2021, no. 55, pp. 135–165. (In Russian). DOI: 10.17223/19988591/55/8.
 7. Yakunina A.V., Sinitsyna Yu.V. The effects of different concentrations of salicylic and succinic acids of on the germination and morphometric parameters of Oat *Avena sativa* L. and Wheat *Triticum durum* L. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya = Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2023, vol. 16 (1), pp. 54–63. (In Russian).
 8. Sabry M. Youssef, Antonio López-Orenes, María A. Ferrer, Antonio A. Calderon. Salicylic-Acid-Regulated Antioxidant Capacity Contributes to Growth Improvement of Okra (*Abelmoschus esculentus* cv. Red Balady). *Agronomy*, 2022, vol. 12 (1), p. 168. DOI: 10.3390/agronomy12010168.
 9. Saleem M., Fariduddin Q., Janda T. Multifaceted role of salicylic acid in combating cold stress in plants: A review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2020. DOI: 10.1007/s00344-020-10152-x.
 10. Sundas Tanveer, Nosheen Akhtar, Noshin Ilyas, RZ Sayyed, Betty Natalie Fitriatin, Kahkashan Perveen, Najat A Bukhari. Interactive effects of *Pseudomonas putida* and salicylic acid for mitigating drought tolerance in canola (*Brassica napus* L.). *Heliyon*, 2023, vol. 9.9 (3). DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14193.
 11. Mohammad Mehdi Alizadeh, Mahyar Geraami, Parastoo Majidian, Hamid Reza Ghorbani. The potential application of biochar and salicylic acid to alleviate salt stress in soybean (*Glycine max* L.). *Heliyon*, 2024 Feb 19, vol. 10 (4), p. e26677. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e26677.
 12. Gorlacheva O.V., Gorbacheva S.N., Lyutenko V.S., Antsyferova O.V. Identification of PEG 6000 concentrations for assessing drought resistance in millet genotypes during the seed germination phase. *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii = Proceedings on applied botany, genetics and breeding*, 2021, vol. 182 (3), pp. 30–36. (In Russian). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-30-36.
 13. Panfilov A.L., Abdrashitov R.R. Effect of biofertilizers and osmotic stress on morphological parameters of spring barley seedlings. *Vestnik RUDN. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2022, vol. 17 (4), pp. 425–436. (In Russian). DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-4-425-436.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Иванова Елена Алексеевна**, научный сотрудник, кандидат биологических наук; SPIN-код 2420-8718; **адрес для переписки:** Россия, 460000, Оренбург, ул. 9 Января, 2; e-mail: bialena201273@gmail.com

Бесалиев Ишен Насанович, заведующий отделом, ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук; SPIN-код 7462-8950; e-mail: orniish_tzk@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Elena A. Ivanova**, Researcher, Candidate of Science in Biology; SPIN-code 2420-8718; **address:** 2, 9 January St., Orenburg, 460000, Russia; e-mail: bialena201273@gmail.com,

Ishen N. Besaliev, Department Head, Lead Researcher, Doctor of Science in Agriculture; SPIN-code 7462-8950; e-mail: orniish_tzk@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 14.01.2025
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 14.03.2025
Дата публикации / Published 15.08.2025