УДК 633:57.045 DOI: 10.25680/S19948603.2026.152.09

ВЛИЯНИЕ ОСМОТИЧЕСКОГО СТРЕССА НА РАЗВИТИЕ ЮВЕНИЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА

Л.В. Осипова, д.б.н., Т.Л. Курносова, к.б.н., И.А. Быковская, О.С. Яковлева, к.б.н., Е.А. Федорова, к.с.-х.н.,
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»)
127434, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 31А;
E-mail: legos4@yandex.ru

В серии лабораторных опытов изучали влияние предпосевной обработки семян (ПОС) яровых пшеницы и ячменя минеральным кремнием и протравителем. Определено, что ПОС кремнием повышала скорость прорастания семян, в то время как протравливание тормозило рост надземной части растений. Кремний снижал отрицательное влияние осмотического стресса на рост ювенильных растений. Протравливание семян усугубляло действие осмотического стресса, повышая интенсивность окислительных процессов. Показано, что действие стресса, вызванного протравливанием семян, сопровождалось накоплением вторичных метаболитов: фенольных соединений и антоцианов, обладающих антиоксидантными свойствами.

Ключевые слова: предпосевная обработка семян, яровая пшеница, яровой ячмень, оксидативный стресс, малоновый диальдегид, фенольные соединения, антоцианы.

Для цитирования: *Осипова Л.В., Курносова Т.Л., Быковская И.А., Яковлева О.С., Федорова Е.А.* Влияние осмотического стресса на развитие ювенильных растений пшеницы и ячменя при обработке посевного материала// Плодородие. – 2026. - №5. – С. 49-53. DOI: 10.25680/S19948603.2026.152.09.

Предпосевная обработка семян является важнейшим элементом агротехнологий и направлена на повышение посевных качеств. В настоящее время существует огромное количество препаратов и способов обработки семян перед посевом. Для подготовки семян к посеву применяют различные химические и биопрепараты, регуляторы роста, электрофизические способы, озонирование и радиационное воздействие.

Действие предобработки семян вызывает широкий спектр физиолого-биохимических реакций в прорастающих семенах. На практике определяют в основном энергию прорастания, всхожесть и морфометрические параметры. Стандартизированной методики ПОС не существует, нет и критериев необходимости проведения обработок. Исследования эффективности агроприема проводят вне зависимости от обеспеченности минеральным питанием. Не учитываются элементный состав и содержание эндогенных метаболитов. Распространено мнение, что содержание биогенных элементов не влияет на процесс прорастания семени [1]. Семенной материал - недостаточно исследованный объект при изучении стрессоустойчивости. Механизм способности семян переносить глубокое обезвоживание и резкие колебания температур в состоянии покоя не известен. Считается, что покой семян является адаптивным механизмом, который защищает семена от прорастания в неблагоприятных условиях, сохраняя их жизнеспособность.

Прорастание – это адаптационный процесс в жизненном цикле растения. К.А. Тимирязев писал: «Едва ли какое явление в жизни растения обращало на себя так много внимания, как именно это его первое проявление: оно вызывало размышления ученых, мыслителей и поэтов; оно облечено каким-то покровом таинственности, мы видим в нем олицетворение самой жизни, символ пробуждения от сна и смерти».

Переход от стадии покоя к росту и развитию требует определенных условий окружающей среды, в первую очередь температуры и влажности почвы. Существует предположение, что механизм прорастания регулируется микроэлементами, которые способствуют удалению белков-гистонов - ядерных белков, влияющих на транскрипцию и блокирующих активность генов, вызывающих активацию синтеза белков.

Цель исследований - изучить влияние предпосевной обработки семян минеральным кремнием, протравителем двойного действия на физиологические механизмы адаптации при прорастании яровых ячменя и пшеницы.

Методика. Объектами исследований служили яровые пшеница и ячмень. Яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорт Дарья, разновидность лютесценс. Включен в Госреестр селекционных достижений по Северо-Западному, Центральному, Центрально-Черноземному и Волго-Вятскому регионам. Сорт среднеспелый (85-95 дней), масса 1000 зерен 33-38 г, содержание белка 14,7%, максимальная урожайность 7,2 т/га.

Яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.), сорт Яровит, разновидность нутанс. Районирован в 2024 г. в Северо-Кавказском регионе. Сорт среднеспелый (63-116 дней), среднерослый, потенциальная урожайность 6,0 т/га, масса 1000 зерен 40-53 г, содержание белка в зерне 11,2-15,0%, устойчив к полеганию.

Лабораторные опыты проводили в климатической камере с регулируемыми температурой и влажностью

воздуха. Посевные качества семян определяли в чашках Петри по ГОСТу 12038-84.

Физиолого-биохимические параметры оценивали у ювенильных растений, выращенных в рулонной культуре (ГОСТ 12044-93). Контрольные варианты проращивали на воде, опытные – первые двое суток на воде, затем 5 суток на растворах сахарозы 3,8 атм. для имитации осмотического стресса. На 7-е сутки определяли морфометрические и физиологические параметры растений.

Перед посевом семена яровой пшеницы и ячменя обрабатывали раствором минерального кремния ($Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$ – 0,15%) из расчета 5% от массы семян и двухкомпонентным протравителем ДВД Шанс, КС (действующее вещество 30 г/л дифеноконазол + 6,3 г/л ципроконазол) + Имидашанс-С, КС (действующее вещество имидаклоприд, 600 г/л) при норме 0,3-0,6 л/т, расход рабочей жидкости 10 л/т.

В опытах изучали онтогенетические особенности адаптации растений, которые оценивали по изменению параметров роста, перекисного окисления липидов, содержанию вторичных метаболитов.

Для оценки перераспределения метаболитов между корневой системой и ростком устанавливали индекс корни/росток (RSR) [1].

Физиолого-биохимические особенности определяли в прорастающих зерновках и ювенильных растениях.

Физиологический статус проростков оценивали по интенсивности перекисного окисления липидов мембран, продуктом которого является малоновый диальдегид (МДА), содержание его определяли по реакции с тиобарбитуровой кислотой на спектрофотометре [1].

Содержание вторичных метаболитов – фенолов и антоцианов определяли по [3]. Индекс RSR рассчитывали как отношение сухой массы корней к сухой массе ростка, биологическое значение которого заключается в перераспределении ресурсов семени между надземной и подземной частями проростка. Стрессоустойчивость оценивали по сравнению с контролем (без стрессового воздействия). Данные на рисунках и в таблицах представлены в виде средних, оценка достоверности различий установлена по t-критерию Стьюдента.

Результаты и их обсуждение. Физиологическая адаптация растений происходит в результате изменения ростовых функций, направленных на реализацию генетической программы онтогенеза. Оценивая влияние ПОС на посевные качества яровой пшеницы сорта Дарья, можно отметить небольшую задержку в наклевывании и прорастании семян, обработанных протравителем (рис. 1).

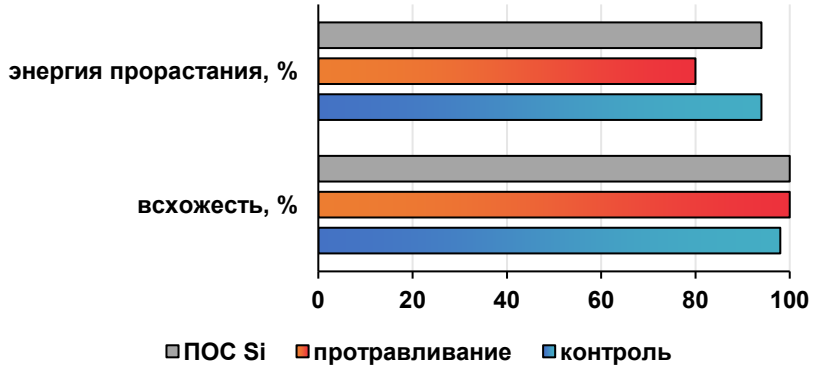


Рис. 1. Энергия прорастания и всхожесть пшеницы сорта Дарья

Считается, что семена с пониженной энергией прорастания формируют растения на 15-20% менее продуктивные. Высокая начальная скорость роста обеспечивает лучшее укоренение, активное использование питательных веществ эндосперма, более раннее начало фотосинтеза и переход к автотрофному питанию.

Реакция проростков пшеницы сорта Дарья на ПОС различными соединениями показала, что протравливание тормозило рост надземной части на 23% и не влияло на корневую систему, ПОС Si не влияла на линейные размеры ростка проростка.

При осмотическом стрессе депрессия роста в контрольном варианте составила 53,8%. Последействие стресса в обработанных семенах было меньше и составило при ПОС протравителем 42,3%, а ПОС Si - 39,2%. Депрессия корня под действием протравителя возросла до 14,8%, а при ПОС Si уменьшилась до 9,25% по сравнению с контролем без ПОС.

При анализе индекса RSR, показывающего направление перетока пластических веществ из зерновки в органы проростка, выявлено значительное преобладание потока ассимилятов в корневую систему при ПОС протравителем как в нормальных условиях культивирования, так и при стрессовом воздействии. Кремний способствовал равномерному распределению метаболитов между первичными корешками и ростком (табл. 1).

1. Влияние предпосевной обработки семян (ПОС) на морфометрические показатели яровой пшеницы сорта Дарья в норме и при осмотическом стрессе

Вариант	Длина, см						Сырая масса, г						RSR	
	ростка			корня			ростка			корня				
	опт.	стресс	D, %	опт.	стресс	D, %	опт.	стресс	D, %	опт.	стресс	D, %	опт.	стресс
Контроль	10,23	4,72	53,8	13,92	12,26	11,9	0,75	0,37	50,6	0,71	0,68	4,2	0,94	1,83
Протравитель	7,80	4,50	42,3	13,85	11,80	14,8	0,58	0,35	39,6	1,09	0,59	45,9	1,87	1,68
Si	9,67	5,87	39,2	14,70	11,57	9,25	0,73	0,52	28,7	0,76	0,59	22,4	1,04	1,13
$НСР_{0,5}$	0,63	0,32		0,81	0,73		0,048	0,021		0,32	0,28			

D - депрессия от стресса (*здесь и в табл. 2, 3*).

Оценивая морфометрические и физиолого-биохимические показатели ярового ячменя сорта Яровит, можно отметить более низкие показатели посевных качеств по сравнению с пшеницей.

В контрольном варианте энергия прорастания составляла 69,0%, всхожесть 91,0 против 94,0 и 100,0% у пшеницы сорта Дарья. Предпосевная обработка семян кремнием активизировала прорастание у сорта Яровит до 96,0%.

Обработка семян кремнием не влияла на линейные размеры и массу проростка в норме и снижала отрицательное влияние осмотического стресса по сравнению с контролем.

Протравливание приводило к снижению длины ростка и его массы в нормальных условиях и усиливало депрессию роста при стрессе: линейные размеры ростка на 45,6%, корня - на 51,8 против 38,3 и 18,8% на контроле (табл. 2, 3).

2. Физиолого-биохимические показатели ростков ярового ячменя сорта Яровит

ПОС	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	МДА, мкМ/г		Длина ростка, см			Масса, г/10 растений			RSR	
			опт.	стресс	опт.	стресс	D, %	опт.	стресс	D, %	опт.	стресс
Контроль	69,0	91,0	0,301	0,101	9,90	6,36	38,3	0,66	0,43	34,8	0,83	1,47
Si	96,0	96,0	0,154	0,106	9,40	6,60	35,1	0,69	0,51	26,0	1,08	1,40
Протравитель	86,0	88,0	0,748	1,689	7,90	4,30	45,6	0,47	0,33	30,7	1,61	1,69
$НСР_{0,5}$	3,2	4,1						0,013	0,008		0,026	0,042

3. Физиолого-биохимические показатели корней ярового ячменя

ПОС	МДА, мкМ/г		Длина корня, см			Масса, г/10 корней		
	опт.	стресс	опт.	стресс	D, %	опт.	стресс	D, %
Контроль	0,040	0,156	10,1	8,20	18,8	0,95	0,75	12,7
Si	0,038	0,114	11,3	8,80	22,1	0,75	0,70	6,7
Протравитель	0,812	2,372	11,0	5,30	51,8	0,76	0,56	26,3

Одним из показателей физиолого-биохимического статуса растительного организма является соотношение про- и антиоксидантных процессов. Маркёром интенсивности этих реакций являются активные формы кислорода (АФК), которые образуются во всех клетках организма и регулируют метаболические процессы. Понимание функциональной роли АФК, их образования и утилизации, влияния на редокс-баланс необходимо для разработки способов предотвращения развития окислительного стресса. АФК постоянно образуются в митохондриях и хлоропластах как побочные продукты метаболических реакций. Воздействуя на процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) мембран, они приводят к образованию продуктов, которые в норме служат предшественниками эндогенных соединений. Генерация избытка АФК происходит при воздействии на растительный организм неблагоприятных факторов, как было показано, практически при всех возможных стрессовых ситуациях [4, 5].

Основным субъектом окисления в мембранах являются полиненасыщенные жирные кислоты, входящие в состав липидов. Процесс ПОЛ включает реорганизацию двойных связей и деструкцию мембранных липидов, повреждение биомембран и их функций. Показателем происходящих изменений является продукт ПОЛ - малоновый диальдегид (МДА). В приведённых экспериментах показано влияние предобработки семян на содержание МДА как показателя редокс-статуса (табл. 4).

4. Влияние ПОС на содержание МДА в яровом ячмене сорта Яровит, мкМ/г сырой массы

Вариант ПОС	Оптимальные условия			Осмотический стресс			RSR	
	росток	корни	зерновка	росток	корни	зерновка	опт.	стресс
Контроль	0,303	0,040	0,127	-	0,156	0,192	0,83	1,47
ПОС Si	0,154	0,038	0,162	0,162	0,114	0,163	1,08	1,70
ПОС Пр	0,748	0,812	2,220	1,680	2,370	4,270	1,70	1,70

Минеральный кремний не оказывал достоверного изменения МДА. Протравливание привело к повышению интенсивности окислительных процессов в проростках (рис. 2). Особенно значимо было содержание МДА в зерновках - активных центрах прорастания. Окислительный стресс, индуцируемый раствором сахарозы, усиливал процессы ПОЛ, что способствовало резкому увеличению МДА в проростках ячменя. Окислительный стресс возрастал в ростках и зерновках в 2 раза, в корнях в 3 раза, что сопровождалось наиболее интенсивным поступлением метаболитов из зерновки в корни, согласно индексу RSR.

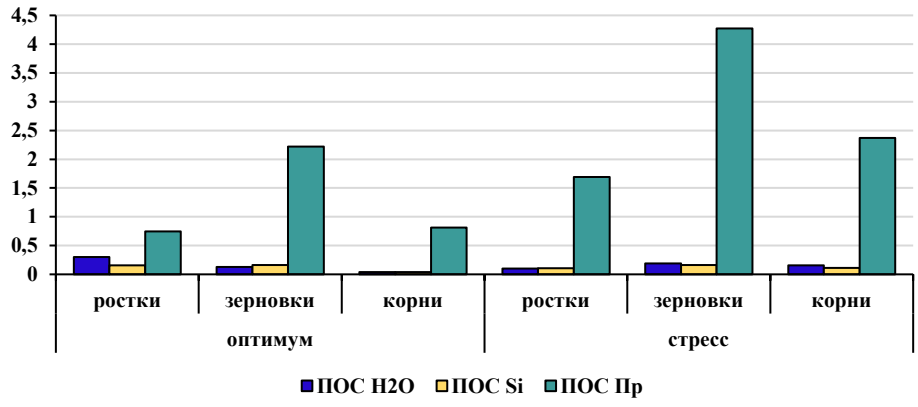


Рис. 2. Влияние ПОС на редокс-статус проростков ячменя в норме и при осмотическом стрессе в яровом ячмене сорта Яровит, мкМ/г

Отмеченные изменения редокс-статуса в проростках, семена которых были протравлены, происходили одновременно с накоплением фенольных соединений (рис. 3).

Фенольные соединения - вторичные метаболиты с высокой окислительно-восстановительной активностью. Антиоксидантные свойства фенольных соединений обусловлены гидроксильными группами, соединёнными с ароматическим кольцом. При взаимодействии с АФК, нивелируют его действие, отдавая электрон. В проведённых опытах была установлена активация фенольного метаболизма при предпосевной обработке семян протравителем (рис. 3*А*).

Продукты вторичного метаболизма, к которым относятся антоцианы, не участвуют в основном метаболизме, но активно синтезируются в ответных реакциях растений на абиотические стрессы. У большинства злаковых культур антоцианы локализуются в алейроновом слое и оболочках зерновок. Генотипы пшеницы с высоким содержанием антоцианов быстрее адаптируются. Считается, что антоцианы участвуют в обеззараживании АФК, проявляя антиоксидантные свойства, которые основаны на их способности взаимодействовать с радикалами [6]. Антоцианы накапливаются при недостаточной эффективности других защитных систем для подавления оксидативного стресса [7] (рис. 3*Б*).

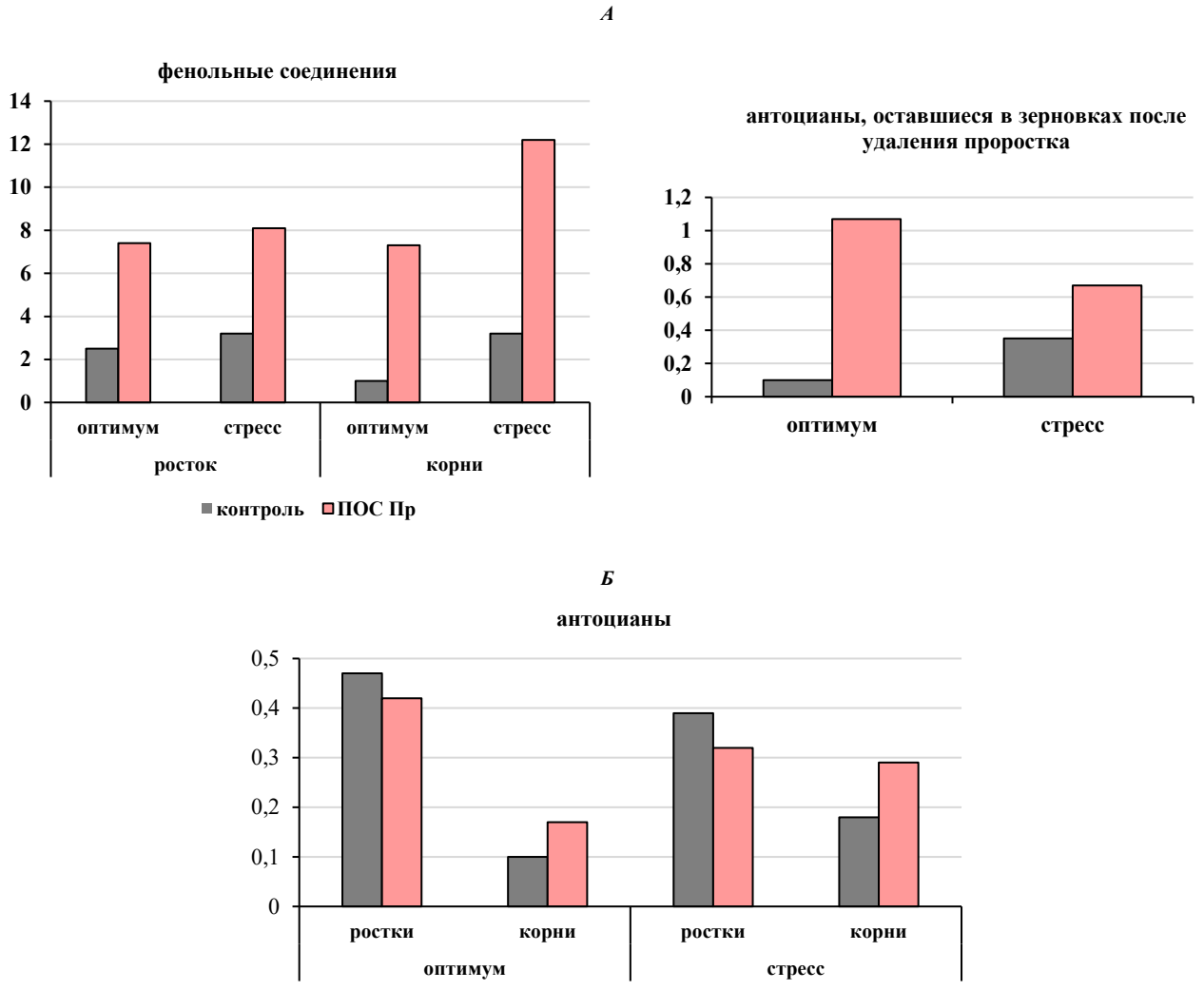


Рис. 3. Влияние ПОС протравителем на содержание фенольных соединений (*А*) и антоцианов (*Б*), мг-экв/г

Выводы. Обработка семян яровой пшеницы и ячменя оказывала разнонаправленное влияние на посевные качества, начальный рост и стрессоустойчивость проростков. Биогенный кремний повышал энергию прорастания, не влиял на линейные размеры зародышевых корней и колеоптиле, способствовал равномерному распределению метаболитов между ними и снижал депрессию роста при осмотическом стрессе.

Протравливание пестицидом тормозило прорастание, задерживало рост надземной части, но стимулировало переток метаболитов зерновки в корневую систему проростка, что способствовало увеличению ее массы в нормальных условиях. При действии осмотического стресса протравитель усугублял его действие и приводил к резкому возрастанию редокс-статуса и активизации фенольного метаболизма.

Использование физиолого-биохимических параметров RSR и МДА повышает достоверность оценки эффективности предпосевной обработки семян.

Литература

1. *Васько, В. Т.* Основы семеноведения полевых культур: Учебное пособие для вузов / В. Т. Васько. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 304 с.
2. *Осипова Л.В., Ерошенко Л.М., Курносова Т.Л., Быковская И.А.* Влияние минерального питания на устойчивость сортов ярового ячменя к оксидативному стрессу// Плодородие. - 2021. - № 5 (122). - С. 52-56.
3. *Al-Khayri YA.M, Rashmi R, Toppo V. a.o.* Plant secondary metabolites: the weapons for biotic stress management metabolites. 2023. Т. 13 № 6. P. 716-738.

4. *Хозеева Е.В. и др.* Окислительный стресс растений: химия, физиология, способы защиты// Природные системы и ресурсы. - 2020. - Т. 10. - № 4. - С. 30-43.
5. *Garg M. et al.* Transfer of grain colors to elite wheat cultivars and their characterization// Journal of Cereal Science Volume 71, September 2016, Pages 138-144 https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.08.004
6. *Neill S.O. et al.* MarkhamAntioxidant activities of red versus green leaves in Elatostema rugosum// Plant Cell Physiology. Volume 25, Issue 4 2002 Pages 539-547 doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00837.x
7. *Trojak M., Skowron E.* Role of anthocyanins in high-light stress response // World Scientific News. 2017. V. 81(2). P. 145-163.

УДК 633:57.045

EFFECT OF SEED TREATMENT ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF JUVENILE WHEAT AND BARLEY PLANTS IN NORMAL AND UNDER OSMOTIC STRESS

L.V. Osipova, Doctor of Biological Sciences, T.L. Kurnosova, Candidate of Biological Sciences, I.A. Bykovskaya, O.S. Yakovleva, Candidate of Biological Sciences, E.A. Fedorova, Candidate of Agricultural Sciences
Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov"
(All-Russian Research Institute of Agrochemistry)
127434, Russia, Moscow, Pryanishnikova str., 31A; E-mail: legos4@yandex.ru

In a series of laboratory experiments, the effect of pre-sowing seed treatment (PIC) of spring wheat and barley with mineral silicon and protectant was studied. It was determined that PIC with silicon increased the rate of seed germination, while dressing inhibited the growth of the above-ground part of plants. Silicon reduced the negative effect of osmotic stress on the growth of juvenile plants. Seed dressing exacerbated the effect of osmotic stress, increasing the intensity of oxidative processes. It was shown that the effect of stress caused by seed dressing was accompanied by the accumulation of secondary metabolites: phenolic compounds and anthocyanins with antioxidant properties.
Keywords: pre-sowing seed treatment, spring wheat, spring barley, oxidative stress, malondialdehyde, phenolic compounds, anthocyanins