

Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 4 (48). С. 3–10
Vestnik Kurganskoy GSNA. 2023; (4-48): 3–10

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 631.531:633.1

Код ВАК 4.1.1

EDN: XYUPKS

ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ СТРЕСС-ФАКТОРОВ НА ПРОРАСТАНИЕ
И ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Виктор Иванович Левин¹, Людмила Анатольевна Антипкина², Александр Сергеевич Ступин³

^{1, 2, 3} Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия

¹ levin-49@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9587-0556>

² latalanova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6933-8833>

³ stupin32@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0548-6313>

Аннотация. Цель исследования – изучение последствия стресс-факторов абиотической и биотической природы на прорастание и посевные качества семян зерновых культур в зависимости от режима их послеуборочного хранения. В лабораторных опытах использовали кондиционные семена районированных сортов яровой пшеницы Агата (*Triticum aestivum* L.) и ячменя Яромир (*Hordeum vulgare* L.), которые подвергали воздействию стресс-факторов: повышенной температуры, механических травмирующих ударов, летучих выделений сапрофитного гриба, т. е. типичных стрессоров, механизированной уборки урожая зерна – последующей сушке и хранению семян. В процессе хранения у стрессированных семян определяли морфометрические показатели проростков, энергию прорастания и лабораторную всхожесть по ГОСТ 12038-84, силу роста по ГОСТ 10340-84, концентрацию стрессового этилена в межзерновой воздушной среде методом газовой хроматографии. Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли с применением пакета программ «Statistica 6.0». Угнетение роста ростка и снижение массы проростков отмечалось в меньшей степени у ячменя. Наиболее выраженное подавление процессов прорастания у семян вызывало их экспонирование в летучих выделениях сапрофитных грибов. Выраженный стрессозащитный эффект обеспечивало хранение семян в воздухонепроницаемых контейнерах. В процессе хранения стрессированных семян в межзерновой воздушной среде происходило увеличение концентрации стрессового этилена в 5–20 раз по сравнению с контролем. Стрессированные семена пшеницы после 12 месяцев хранения и ячменя – через 24 месяца не отвечали требованиям посевного стандарта. Адаптационная реакция последствия стресс-факторов у семян зерновых культур сопровождалась выделением стрессового этилена, угнетением роста проростков, снижением энергии прорастания и лабораторной всхожести семян. Выявлена более высокая резистентность семян ячменя по сравнению с яровой пшеницей воздействию абиотического и биотического стресс-факторов. Хранение стрессированных семян в воздухонепроницаемых контейнерах блокирует развитие стрессовых реакций и пролонгирует высокие посевные качества.

Ключевые слова: семена, стресс-факторы, прорастание, посевные качества, условия хранения, воздухонепроницаемые контейнеры.

Для цитирования: Левин В.И., Антипкина Л.А., Ступин А.С. Последствие стресс-факторов на прорастание и посевные качества семян зерновых культур // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 4 (48). С. 3–10. EDN: XYUPKS.

Scientific article

THE AFTEREFFECT OF STRESS FACTORS ON GERMINATION AND GRAIN SEEDS
QUALITIES

Viktor I. Levin¹, Lyudmila A. Antipkina², Alexander S. Stupin³

^{1, 2, 3} Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

¹ levin-49@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9587-0556>

² latalanova@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6933-8833>

³ stupin32@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0548-6313>

Abstract. The purpose of the research is to study the aftereffect of stress factors of abiotic and biotic nature on the germination and grain seed qualities, depending on their post-harvest storage regime. In the laboratory experiments, the certified seeds of the released varieties of spring wheat Agata (*Triticum aestivum* L.) and barley Yaromir (*Hordeum vulgare* L.) were used, which were exposed to stress factors, such as elevated temperature, mechanical traumatic shocks, volatile matter of the saprophytic fungus, i.e. typical stressors at mechanized grain harvesting, subsequent drying and seeds storage. During the storage period, the following parameters were determined in the stressed seeds: morphometric parameters of seedlings, germination energy and laboratory germination according to GOST 12038-84, growth force according to

GOST 10340-84, concentration of stress ethylene in the interseed air space by gas chromatography. The statistical processing of experimental data was performed using the software package 'Statistica 6.0'. Inhibition of sprout growth and a decrease in the weight of seedlings were noted to a lesser extent in barley. The most pronounced suppression of germination processes in the seeds caused their exposure in volatile matter of saprophytic fungi. The storage of the seeds in airtight containers provided a pronounced stress-protective effect. During the storage of the stressed seeds in the interseed air space, the concentration of stress ethylene increased by 5-20 times compared to the control. The stressed wheat seeds after 12 months of storage and barley after 24 months did not meet the requirements of the seed quality standard. The adaptive reaction of the aftereffect of stress factors in grain seeds was accompanied by the release of stress ethylene, inhibition of seedling growth, a decrease in germination energy and laboratory germination of seeds. The research revealed a higher resistance of barley seeds compared with spring wheat to the effects of abiotic and biotic stress factors. Stressed seeds storage in airtight containers blocks the development of stress reactions and prolongs high seed qualities.

Keywords: seeds, stress factors, germination, seed qualities, injury conditions, airtight containers.

For citation: Levin V.I., Antipkina L.A., Stupin A.S. The aftereffect of stress factors on germination and grain seeds qualities. Vestnik Kurganskoy GSHA. 2023; (4-48): 3–10. EDN: XYUPKS. (In Russ).

Введение. На внешние повреждающие воздействия семена растений отвечают широким спектром неспецифических защитно-адаптационных стрессовых реакций: происходит увеличение синтеза этилена [1], снижается уровень устойчивости [2], изменяется гормональная регуляция у проростков [3], подавляется интенсивность начальных процессов роста и ухудшаются посевные качества семян [4]. В последнее десятилетие современная парадигма семян растений дополнилась экспериментально доказанными и теоретически обоснованными ранее неизвестными сведениями о способности воздушно-сухих стрессированных семян дистанционно индуцировать физиологические модификации у интактных (неповрежденных, целостных), обусловлено влиянием экзогенного этилена, идентифицированного в газообразных летучих выделениях стрессированных семян [5]. Кроме того, подтверждено ингибирующее влияние на процессы прорастания и жизнеспособность семян газообразных летучих выделений сапрофитных плесневых грибов, содержащих высокие концентрации этилена, способствующего ускорению наступления летального эффекта и последующего использования нежизнеспособных семян в качестве пищевого субстрата [6]. Данное положение дополняет антистрессовые технологии защиты сельскохозяйственных культур на основе фитогормональной регуляции [7–8].

Изучение свойств семян растений как саморегулирующей биологической системы, наделенной репродукционной способностью, имеет не только теоретическое, но и не менее важное прикладное значение. Об этом свидетельствует подавляющее большинство экспериментальных работ, относящихся к разработке инновационных агротехнологий в различных отраслях растениеводства и совершенствованию приемов предпосевной подготовки семян [9–11], фитосанитарной оценке посевных качеств семян при уборке урожая и в послеуборочный период [12]. Между тем до настоящего времени в растениеводстве и семеноводстве зерновых культур существует целый ряд нерешенных проблем, к числу которых относятся несовершенная технология уборки и хранения семян [4, 13–15]. В первом случае это механизированная

уборка, сопровождающаяся неизбежным макро- и микротравмированием зерновок, особенно при неблагоприятных погодных условиях и нарушении технических регламентов уборки урожая [16–17]. При последующей очистке, сортировке и сушке зерновой массы у семян происходит нарастание числа повреждений. На внешние повреждающие воздействия, т. е. стресс-факторы, растительные организмы отвечают защитно-адаптационными реакциями, формированием состояния стресса. У семян растений происходит снижение функциональной активности, истощаются ресурсы надежности и устойчивости, угнетается прорастание, ослабевает рост, резко ухудшаются посевные качества [1–2; 4].

В этой связи углубленное изучение и дополнение новыми знаниями физиологии семян растений может быть значимым научно-практическим вкладом, положенным в основу совершенствования технологий послеуборочного хранения семян и выращивания зерновых культур.

Исходя из вышеизложенного, целью данного исследования являлось изучение адаптационной реакции у семян двух видов зерновых культур на последствие стресс-факторов абиотической и биотической природы, в зависимости от условий и продолжительности их хранения. В задачу исследования входило экспериментальное обоснование, изменения морфометрических показателей проростков, скорости, энергии прорастания и лабораторной всхожести у стрессированных семян при различных режимах послеуборочного хранения.

Материалы и методы. В опытах использовали семена урожая 2018, 2019 и 2020 гг. Серия лабораторных опытов выполнялась в период с 2019 по 2022 год. Опыты были проведены с двумя видами семян зерновых культур: мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Агата, ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Яромир. Семена по посевным качествам отвечали требованиям ГОСТ Р 52325-2005, продолжительность их хранения в эксперименте достигала 48 месяцев. Перед началом хранения семена ручного обмолота, которые использовали в качестве контроля, подвергали воздействию стресс-факторов абиотической и биотической природы. В первом случае состоя-

ние стресса у воздушно-сухих зерновок порождалось ударными механическими воздействиями, в результате чего у 35–50 % зерновок возникали микроповреждения, 5–8 % имели царапины, трещины, вмятины, т. е. моделировали типичное состояние повреждения семян при механизированной уборке урожая зерновых культур. Влияние второго абиотического стресс-фактора обеспечивалось гипертермическим воздействием на зерновую массу с влажностью 15 % теплоносителя (подогретого воздуха) с температурой до 60–70 °С в течение 1–2 часов и нагреванием зерновок 50±5 °С.

В качестве повреждающего фактора биотической природы использовали летучие выделения сапрофитного плесневого гриба (*Penicillium glaucum* L.), в газовой среде которых семена перед хранением экспонировали в течение 10–15 суток. Колбу с пропаренными зерновками, инфицированными прорастающими спорами гриба, через полулю газообразную трубку соединяли с колбой, где хранились семена контрольного варианта, т. е. интактные (целостные, неповрежденные) семена. Летучие выделения пассивно в процессе диффузии поступали из одной колбы в другую. Концентрацию этилена в межзерновой воздушной среде определяли в колбе с интактными семенами на хроматографе «Кристалл-2000 М» с периодичностью через каждые 3 месяца в течение 1 года, в дальнейшем – через 2, 3 и 4 года хранения.

Семена, находящиеся в состоянии стресса, разделяли на две части с последующим их размещением в пакетах из воздухопроницаемого тканого материала и воздухонепроницаемых контейнерах. Последующее хранение семян с влажностью 13–14 % осуществлялось в лабораторных условиях при температуре от +16 до +22 °С и в зернохранилище при температуре в диапазоне от отрицательных до положительных значений.

Масса образцов интактных и поврежденных семян составляла 500–1000 г. Ответную реакцию семян, находящихся в состоянии стресса, оценивали в динамике по критериям: скорость, энергия прорастания, лабораторная всхожесть, морфологические признаки проростков, включая длину и массу первичных корешков, длину и массу ростков. Опыты по проращиванию семян проводили в четырехкратной повторности, используя в каждом повторении по 100 шт. семян. Лабораторную всхожесть семян определяли по ГОСТ 12038-84, силу роста по ГОСТ 10340-84.

Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли с применением пакета программ «Statistica 6.0». Значимость различий исследуемых показателей оценивали по критерию Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при $P \leq 0,05$. Результаты представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты исследований показывают, что хроническое состояние стресса у воздушно-сухих семян яровой пшеницы, индуцированное повреждающими воздействиями различной природы, сопровождалось динамичным нарастанием подавления роста ростка и наибольшего первичного корешка проростков и их массы уже после 6 месяцев хранения в пакетах из тканого материала (таблица 1). Наиболее сильное угнетение роста проростков вызывало экспонирование семян летучими выделениями плесневых грибов. Так, при 12-месячном хранении семян длина ростка и наибольшего первичного корешка в данном варианте к уровню контроля составляла соответственно 19 % и 31 %, тогда как в вариантах с механическим травмированием и гипертермией эти показатели по отношению к контролю соответственно 57 % и 72 %; 53 % и 75 %. Сильнее у проростков подавлялись линейные параметры ростка по сравнению с первичным корешком, при этом их численность во всех опытных вариантах незначительно отличалась от контроля.

Ингибирование роста ростка и первичного корешка у стрессированных семян вызывало уменьшение их массы. Наименьшее значение данных показателей было в варианте с летучими выделениями плесневых грибов, где массы ростка и корешка к 12 месяцам хранения соответственно составляли к контролю 41 % и 45 %, в других опытных вариантах эти показатели были в диапазоне 67–79 %.

Однако адаптационная реакция у проростков поврежденных семян не только сопровождалась угнетением роста, но и при продолжительности хранения 1 месяц во всех опытных вариантах проявлялась в виде стимуляции роста ростка с превышением к контролю на 8,8–16,0 %, что согласуется с разнонаправленным влиянием этилена на ростовые процессы [4].

В практике выращивания зерновых культур наиболее типичными стресс-факторами, порождающими состояние стресса у семян при уборке урожая, являются механические травмы зерновок. На стрессированных семенах яровой пшеницы и ячменя, индуцированных механическими травмами, прослежена динамика изменения посевных качеств в условиях лабораторного хранения (таблица 2). При увеличении продолжительности хранения семян отмечались существенные видовые различия в стрессоустойчивости. Так, у семян яровой пшеницы уже к 6 месяцам хранения энергия прорастания уменьшилась к контролю на 15 %, тогда как у ячменя это различие составляло 4 %. К 24 месяцам хранения данный показатель у семян яровой пшеницы был ниже контроля на 28 %, у ячменя – на 11,5 %.

Таблица 1 – Морфометрические показатели проростков яровой пшеницы

Стресс-фактор	Продолжительность хранения семян, мес.	Морфометрические показатели трехсуточных проростков			Масса проростков в воздушно-сухом состоянии, 100 шт./г	
		длина ростка, мм	длина наибольшего первичного корешка, мм	число первичных корешков, шт	ростки	первичные корешки
Контроль (интактные)	1	15,9±1,4	22,3±1,5	3,34±0,09	0,68±0,07	0,71±0,07
	6	20,1±2,3	30,8±2,4	3,39±0,11	0,71±0,08	0,69±0,05
	12	17,6±2,1	25,4±1,3	3,40±0,08	0,70±0,06	0,73±0,07
Механические ударные воздействия	1	18,4/116 ±1,2*	23,6/106 ±1,5	3,41±0,09	0,79/104 ±0,09	0,75/106 ±0,08
	6	15,67/78 ±1,5*	28,9/94±1,1	3,32±0,07	0,59/83 ±0,06*	0,64/93 ±0,04
	12	10,1/57±1,4*	18,4/72±1,2*	3,35±0,10	0,50/71±0,04*	0,58/79±0,05*
Повышенная температура (гипертермия)	1	17,8/112±1,1*	23,8/107±0,09	3,39±0,12	0,70/103±0,08	0,74/104±0,09
	6	11,5/67±1,3*	19,3/84±1,1*	3,37±0,08	0,61/86±0,04	0,68/95±0,06
	12	9,3/53±1,5*	19,1/75±1,8*	3,34±0,11	0,47/67±0,05*	0,51/70±0,07*
Летучие выделения плесневых грибов	1	17,3/108,8±1,1*	24/105,4±1,7	3,40±0,07	0,74/108,9±0,08*	0,77/105,4±0,06
	6	8,7/43±1,5*	18,2/59±1,4*	3,35±0,09	0,41/58±0,07*	0,52/75±0,07*
	12	3,4/19±0,6*	7,6/31±1,0*	3,33±0,08	0,28/41±0,03*	0,32/45±0,04*

*различия с контролем, статистически значимые при P≤0,05

числитель – абсолютный показатель

знаменатель – процент к контролю

Таблица 2 – Динамика посевных качеств семян зерновых культур

Продолжительность хранения семян, мес.	Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %	Сила роста	
				Количество ростков, %	Масса 100 шт./г
6	Контроль – пшеница	90,1±2,2	97,0±1,4	91,3±2,0	5,03
	Стрессированные – пшеница	83,4±2,7*	95,3±3,1	88,0±1,9	4,79/94,4
	Контроль – ячмень	72,8±1,5	94,7±1,7	89,1±1,6	5,11
	Стрессированные – ячмень	68,7±2,1	92,5±1,8	85,8±2,2	5,01/98,0
12	Контроль -- пшеница	89,3±1,9	95,8±2,4	90,1±1,4	4,68
	Стрессированные – пшеница	63,6±2,2*	85,5±1,8*	74,3±2,3	3,61/77,1*
	Контроль – ячмень	74,5±1,6	93,4±2,3	87,5±1,8	5,19
	Стрессированные – ячмень	70,1±1,1	90,7±1,6	82,0±1,3	4,82/92,8*
24	Контроль – пшеница	86,3±1,9	95,7±2,0	88,1±2,0	4,12
	Стрессированные – пшеница	43,6±3,2*	76,2±3,3*	58±2,9*	0,98/23,7*
	Контроль – ячмень	71,5±1,6	94,5±1,5	75,0±1,3	4,40
	Стрессированные – ячмень	62,1±1,1*	80,4±1,2*	65±1,9*	2,75/62,5*
48	Контроль – пшеница	70,4±3,4	85,6±4,3	75,3±3,2	1,93
	Стрессированные – пшеница	15,3±1,2*	27,1±1,9*	11,8±1,1	0,18/9,3*
	Контроль – ячмень	70,5±3,8	89,0±3,6	73,2±4,1	2,27
	Стрессированные – ячмень	39,7±2,5*	66,3±3,9*	41,5±2,7*	0,53/23,4*

*различия с контролем, статистически значимые при P≤0,05

числитель – абсолютный показатель

знаменатель – процент к контролю

Значимое снижение лабораторной всхожести у семян яровой пшеницы наблюдалось к 12 месяцам хранения, где различия с контролем достигали 10 %, у семян ячменя – только 4 %. Лабораторная всхожесть стрессированных семян ячменя достоверно снизилась только после 24 месяцев хранения и была ниже контроля на 8 %, у семян яровой пшеницы соответственно – на 16 %.

То есть семена пшеницы по показателю всхожести уже к 12 месяцам хранения не соответствовали требованиям стандарта на посевные качества, тогда как у семян ячменя падение данного показателя ниже стандарта происходило к 24 месяцам. После 24 месяцев хранения количество ростков и их масса у стрессированных семян яровой пшеницы по сравнению с контролем была меньше на 30 % и составляла 23,7 % от его уровня, тогда как у ячменя эти показатели были меньше на 10 % и составляли 62,5 % от контроля. Последующее увеличение продолжительности хранения протекало с нарастанием подавления всех исследуемых показателей у проростков семян пшеницы и ячменя в более выраженной степени у первых.

На семенах двух видов с исходной всхожестью 93 % у яровой пшеницы и 95 % ячменя был проведен анализ изменения интенсивности начальных процессов роста и посевных качеств семян, подвергавшихся гипертермическому воздействию (таблица 3). Хранение стрессированных семян яровой пшеницы в тканых пакетах (воздухопроницаемых) сопровождалась выраженным уменьшением скорости, энергии прорастания и лабораторной всхожести по сравнению с хранением в воздухо- и светонепроницаемых контейнерах

соответственно на 25 %; 17 % и 10 %.

Сходная зависимость по снижению данных показателей отмечалась у семян ячменя, но по абсолютным показателям эти различия были более чем в 2 раза меньшими, чем у яровой пшеницы, соответственно не превышали 12 %, 6 % и 3 %. Положительная температура при хранении семян в тканевых пакетах вызывала наиболее сильное угнетение по сравнению с переменным температурным режимом.

Контейнерное хранение стрессированных семян в течение 12 месяцев, независимо от температурного режима, способствовало сохранению лабораторной всхожести у семян яровой пшеницы и ячменя соответственно на уровне 92,9 %, т. е. посевные качества семян соответствовали требованиям ГОСТ Р 52325-2005. Лабораторная всхожесть семян, хранившихся в тканевых пакетах, была ниже стандартных показателей. Определяющую роль в пролонгации посевных качеств семян зерновых культур играет режим хранения, направленный на ограничение семян от воздухообмена с окружающей средой, т. е. контейнерное хранение. Следовательно, воздушная изоляция стрессированных семян в течение 12 месяцев блокирует развитие у них стресса.

Е. В. Землянская с соавторами (2016) [18] установили, что стрессированным растительным организмам свойственна аутоиндукция этилена, т. е. на выделение этилена растения отвечают увеличением его синтеза, что предположительно происходит у воздушно-сухих семян как саморегулирующей биосистемы, находящейся в состоянии хронического стресса.

Таблица 3 – Влияние температурного режима и условий хранения на интенсивность прорастания и посевные качества семян (длительность хранения 12 мес.)

Семена	Условия хранения семян	Температурный режим (+ положительный +- переменный)	Скорость прорастания семян, %			Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %
			1-е сутки	2-е сутки	3-и сутки		
Яровая пшеница	Тканевые пакеты	+	11,4±1,3* **	35,1±1,2* **	72,2±2,4* **	56,5±3,4* **	82,6±2,4*
		+-	25,6±1,8* **	57,9±1,7* **	79,6±2,2	64,3±2,3* **	87,5±1,7*
	Контейнер	+	38,4±1,8*	65,2±1,2*	83,2±1,7*	73,8±2,3*	92,9±0,9*
		+-	37,9±2,1*	70,1±2,3*	83,5±1,8	74,1±1,6*	93,0±1,8
Ячмень	Тканевые пакеты	+	16,0±0,9*	41,2±1,4* **	80,3±2,7*	73,2±1,9*	89,6±1,4*
		+-	19,6±1,3*	50,9±1,7* **	82,6±0,9*	79,4±1,3	90,3±0,9
	Контейнер	+	24,3±1,1*	62,6±2,2*	90,7±1,4*	81,7±2,2*	94,5±1,1*
		+-	28,1±1,3*	59,8±1,8*	91,0±1,0*	80,1±2,4	93,7±1,6

*различия, значимые между вариантами внутри вида по условиям хранения $P \leq 0,05$

**различия, значимые по температурному режиму $P \leq 0,05$

Семена на повреждающие воздействия реагируют неспецифической адаптационной реакцией, сопровождающейся выделением стрессового этилена (рисунок).

С увеличением продолжительного хранения семян происходило динамичное нарастание концентрации этилена в межзерновой воздушной среде до 12 месяцев, достигая максимума в варианте с летучими выделениями грибов с превышением к контролю более, чем в 20 раз. Последующее хранение семян вызывало последовательное снижение концентрации этилена во всех опытных вариантах до уровня контроля к 48 месяцам. Существенное снижение концентрации этилена при длительном хранении, вероятно, объясняется резким снижением энергии прорастания и уменьшением числа всхожих семян, в результате уменьшается объем выделяемого этилена, который синтезируется в процессе метаболизма жизнеспособными семенами.

Заключение. Состояние стресса у воздушно-сухих семян зерновых культур вызывают стресс-факторы как физической, так и биологической природы. На повреждающее воздействие семена отвечают адаптационными реакциями, сопровождающимися ингибированием прорастания семян, линейных параметров роста, первичных корешков, снижением энергии прорастания и лабораторной всхожести семян. В стрессированных семенах протекают сложные метаболические процессы, связанные с угнетением наиболее стрес-

сочувствительного физиологического процесса – роста и выделением фитогормона стрессового этилена. Подавление линейных показателей у проростков свидетельствуют о нарушении баланса между фитогормонами, ингибирующими и стимулирующими процессы роста.

Ограничение воздухообмена у стрессированных семян за счет хранения в контейнерах значительно снижает угнетение роста проростков, пролонгирует посевные качества семян. Более высокая степень устойчивости семян ячменя к стрессу по сравнению с семенами яровой пшеницы с определенной степенью вероятности обусловлена наличием сросшейся с зерновкой ячменя цветочной чешуи, снижающей активность доступа воздуха к зародышу, в отличие от голозерных семян яровой пшеницы. Контейнерное хранение семян ограничивает доступ активного кислорода к зерновой массе, снижает активность метаболических процессов, стабилизирует исходный уровень интенсивности начальных процессов роста, блокирует стрессовые реакции, пролонгирует лабораторную всхожесть семян на уровне посевных стандартов.

Наиболее сильное угнетение стрессированных семян под влиянием гипертермии и летучих выделений плесневых грибов связано с их воздействием на все жизненно важные структуры клетки, включая зародыш, тогда как механические травмы наносят повреждения не всей зерновке, а только отдельным ее частям.

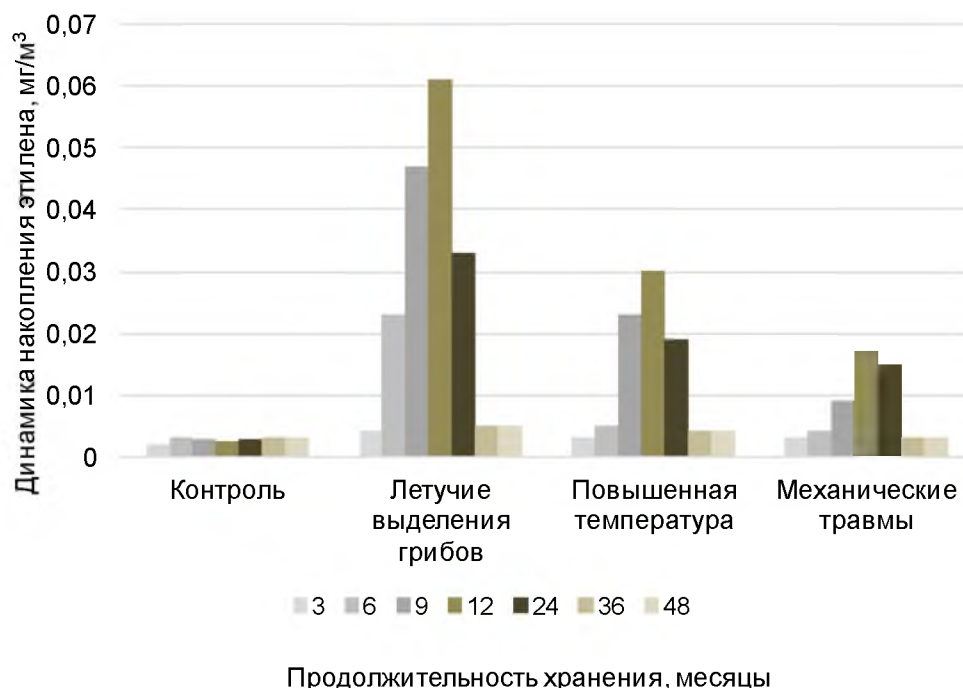


Рисунок – Динамика накопления этилена в межзерновой воздушной среде стрессированных семян яровой пшеницы (мг/м³)

Список источников

1. Ho T.-T., Murthy H.N., Park S.-Y. Methyl Jasmonate Induced Oxidative Stress and Accumulation of Secondary Metabolites in Plant Cell and Organ Cultures // *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21. No 3. P. 716.

2. Стресс-протекторные реакции проростков пшеницы и ржи при индуцировании устойчивости к низким температурам донором сероводорода / Ю.Е. Колупаев [и др.] // *Физиология растений*. 2019. Т. 66. № 4. С. 277-285.

3. Роль фитогормонов в регуляции устойчивости семян пшеницы, ржи и тритикале к действию повышенных температур при прорастании / Л.В. Чумкина [и др.] // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2019. Т. 55. № 1. С. 77-85.

4. Ключников А.С. Исследование влияния новой технологии сушки на посевные качества семян зерновых культур // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2020. № 1. С. 49-60.

5. Modifying the of stressed spring wheat seeds on intact ones / V.I. Levin [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials*. 2021. P. 012015.

6. Хозеева Е.В., Зимина Ю.А., Срослова Г.А. Окислительный стресс растений: химия, физиология, способы защиты // *Природные системы и ресурсы*. 2020. № 4. С. 30-43.

7. Абилова Г.А. Влияние салицилата натрия на физиолого-биохимические показатели проростков пшеницы при действии тяжелых металлов // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2020. Т. 10. № 2. С. 274-283.

8. Роль полифункциональных регуляторов роста растений в преодолении гербицидного стресса / М.М. Наумов [и др.] // *Агрехимия*. 2019. № 5. С. 21-28.

9. Исайчев В.А., Андреев Н.Н., Каспировский А.В. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от предпосевной обработки семян регуляторами роста // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2013. № 3 (23). С. 14-19.

10. Постовалов А.А., Суханова С.Ф. Эффективность предпосевной обработки семян ярового ячменя фунгицидами // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственной аграрный университет)*. 2020. № 2 (55). С. 42-49.

11. Minikayev R.V., Talanov I.P., Ganeeva R.M. Influence of calculated doses of mineral fertilizers and biological products during presowing seed treatment on barley yield // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019*. 2019. P. 012086.

12. Торопова Е.Ю., Порсев И.Н., Купцевич Н.А. Фитоэкспертиза семян как фактор оптимизации

технологии посева зерновых колосовых культур и льна в Курганской области // *Вестник Курганской ГСХА*. 2012. № 2 (2). С. 37-40.

13. Scientific support of innovative development of agriculture / O.V. Mamai [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. II International scientific and practical conference «Ensuring sustainable development in the context of agriculture, green energy, ecology and earth science»*. 2022. P. 012003.

14. Thermal conditions of storing seed grain in a hermetic container with a regulated air environment / M.B. Latyshenok [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. II International scientific and practical conference «Ensuring sustainable development in the context of agriculture, green energy, ecology and earth science»*. 2022. P. 012006.

15. Prospects and method of seed grain storage in a container with gas-regulating medium / N.V. Byshov [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. «International Conference on World Technological Trends in Agribusiness»*. 2021. P. 012118.

16. Scientific support of innovative development of agriculture / G.N. Sandakova [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019*. 2019. P. 012022.

17. Ряднов А.И., Арылов Ю.Н. Повышение урожайности яровой пшеницы за счет использования семян с низким уровнем травмирования // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2022. № 4 (68). С. 45-52.

18. Механизмы регуляции передачи этиленового сигнала у растений / Е.В. Землянская [и др.] // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016. Т. 20. № 3. С. 386-395.

References

1. Ho T.-T., Murthy H.N., Park S.-Y. Methyl Jasmonate Induced Oxidative Stress and Accumulation of Secondary Metabolites in Plant Cell and Organ Cultures. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020; (21-3): 716.

2. Kolupaev Yu.E. et al. Stress-protectornye reakcii prorstkov pshenicy i rzhi pri inducirovanii ustojchivosti k nizkim temperaturam donorom serovodoroda [Stress-protective reactions of wheat and rye seedlings when resistance to low temperatures is induced by a hydrogen sulfide donor]. *Fiziologiya rastenij*. 2019; (66-4): 277-285. (In Russ).

3. Chumkina L.V. et al. Rol' fitogormonov v reguljacii ustojchivosti semjan pshenicy, rzhi i tritikale k dejstvuju povyshennyh temperatur pri prorastanii [The role of phytohormones in regulating the resistance of

wheat, rye and triticale seeds to elevated temperatures during germination]. *Applied biochemistry and microbiology*. 2019; (55-1): 77-85. (In Russ).

4. Klyuchnikov A.S. Issledovanie vlijaniya novoj tehnologii sushki na posevnye kachestva semjan zernovykh kul'tur [Study of the influence of new drying technology on the sowing qualities of grain seeds]. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2020; (1): 49-60. (In Russ).

5. Levin V.I. et al. Modifying the of stressed spring wheat seeds on intact ones. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials*. 2021: 012015.

6. Khozeeva E.V., Zimina Yu.A., Sroslova G.A. Okislitel'nyj stress rastenij: himija, fiziologija, sposoby zashhity [Plant oxidative stress: chemistry, physiology, methods of protection]. *Natural systems and resources*. 2020; (4): 30-43. (In Russ).

7. Abilova G.A. Vlijanie salicilata natrija na fiziologo-biohimicheskie pokazateli prorostkov pshenicy pri dejstvii tjazhelykh metallov [The influence of sodium salicylate on the physiological and biochemical parameters of wheat seedlings under the influence of heavy metals]. *Proceedings of universities. Applied chemistry and biotechnology*. 2020; (10-2): 274-283. (In Russ).

8. Naumov M.M. et al. Rol' polifunkcional'nykh reguljatorov rosta rastenij v preodolenii gerbicidnogo stressa [The role of multifunctional plant growth regulators in overcoming herbicide stress]. *Agrohimia*. 2019; (5): 21-28. (In Russ).

9. Isaichev V.A., Andreev N.N., Kaspirovsky A.V. Urozhajnost' i kachestvo zerna jarovoj pshenicy v zavisimosti ot predposevnoj obrabotki semjan reguljatorami rosta [Yield and grain quality of spring wheat depending on pre-sowing seed treatment with growth regulators]. *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2013; (3-23): 14-19. (In Russ).

10. Postovalov A.A., Sukhanova S.F. Jefferktivnost' predposevnoj obrabotki semjan jarovogo jachmenja fungicidami [Efficiency of pre-sowing treatment of spring barley seeds with fungicides]. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2020; (2-55): 42-49. (In Russ).

11. Minikayev R.V., Talanov I.P., Ganeeva R.M. Influence of calculated doses of mineral fertilizers and biological products during presowing seed treatment on barley yield. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019*. 2019: 012086.

12. Toropova E.Yu., Porsev I.N., Kuptsevich N.A. Fitojeksperiza semja kak faktor optimizacii tehnologii poseva zernovykh kolosovykh kul'tur i l'na v Kurganskoj oblasti [Phytoexpertise of seed as a factor in optimizing the technology of sowing cereal grain crops and flax in the Kurgan region]. *Vestnik Kurganskoj GSXA*. 2012; (2-2): 37-40. (In Russ).

13. Mamai O.V., Bondin I.A., Potenko T.A., Mamai I.N. Scientific support of innovative development of agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. II International scientific and practical conference «Ensuring sustainable development in the context of agriculture, green energy, ecology and earth science»*. 2022: 012003.

14. Latyshenok M.B. et al. Thermal conditions of storing seed grain in a hermetic container with a regulated air environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. II International scientific and practical conference «Ensuring sustainable development in the context of agriculture, green energy ecology and earth science»*. 2022: 012006.

15. Byshov N.V. et al. Prospects and method of seed grain storage in a container with gas-regulating medium. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. «International Conference on World Technological Trends in Agribusiness»*. 2021: 012118.

16. Sandakova G.N. et al. Scientific support of innovative development of agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019*. 2019: 012022.

17. Ryadnov A.I., Arylov Yu.N. Povyshenie urozhajnosti jarovoj pshenicy za schet ispol'zovanija semjan s nizkim urovnem travmirovanija [Increasing the yield of spring wheat through the use of seeds with a low level of injury]. *Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*. 2022; (4-68): 45-52. (In Russ).

18. Zemlyanskaya E.V. et al. Mehanizmy reguljatsii peredachi jetilenovogo signala u rastenij [Mechanisms of regulation of ethylene signal transmission in plants]. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016; (20-3): 386-395. (In Russ).

Информация об авторах

В.И. Левин – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; AuthorID 366138.

Л.А. Антипкина – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; AuthorID 669538.

А.С. Ступин – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; AuthorID 660618.

Information about the author

V.I. Levin – Doctor of Agricultural Sciences, Professor; AuthorID 366138.

L.A. Antipkina – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor; AuthorID 669538.

A.S. Stupin – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor; AuthorID 660618.

Статья поступила в редакцию 28.09.2023; одобрена после рецензирования 27.10.2023; принята к публикации 12.12.2023.

The article was submitted 28.09.2023; approved after reviewing 27.10.2023; accepted for publication 12.12.2023.