

**ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО/GENERAL AGRICULTURE AND CROP PRODUCTION**DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.70.15> EDN: IMZIUN**ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ СНИЖЕНИЯ ПОСЕВНЫХ КАЧЕСТВ СТРЕССИРОВАННЫХ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПРИ ХРАНЕНИИ**

Научная статья

Ступин А.С.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0003-0548-6313;¹ Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (stupin32[at]yandex.ru)

Предложена: 26.04.2026; Принята: 26.05.2026; Опубликовано: 19.06.2026

Аннотация

Семена, хранящиеся ненадлежащим образом, теряют свои качества. Ухудшение качества семян во время хранения снижает их всхожесть, что является серьезной проблемой, влияющей на урожайность и продуктивность сельскохозяйственных культур. Процесс ухудшения качества семян определяется многофакторным влиянием различного рода детерминант, имеющих экзогенное и эндогенное происхождение. Условия хранения — особенно температура окружающей среды, относительная влажность, состав атмосферы и микробная активность — являются критическими факторами, определяющими кинетику порчи. В статье рассмотрены основные причины снижения посевных качеств стрессированных семян зерновых культур при хранении. Систематизированы механизмы их воздействия и последствия, а также специфические проявления. Отдельное внимание уделено таким факторам как выделение стрессового этилена; дистанционное влияние стрессированных семян на интактные. В частности, детализирован процесс биохимической и физиологической деструкции семян зерновых культур под воздействием стрессового этилена. Представлены результаты количественной оценки деструктивного воздействия летучих метаболитов стрессированного зерна на жизнеспособность интактных семян пшеницы и ячменя в герметичной среде.

Ключевые слова: семена, хранение, порча, этанол, зерновые культуры.**THE MAIN REASONS FOR THE DECLINE IN THE SOWING QUALITY OF STRESSED CEREAL CROPS DURING STORAGE**

Research article

Stupin A.S.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0003-0548-6313;¹ Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russian Federation

* Corresponding author (stupin32[at]yandex.ru)

Suggested: 26.04.2026; Accepted: 26.05.2026; Published: 19.06.2026

Abstract

Seeds that are stored improperly lose their quality. A decline in seed quality during storage reduces their germination rate, which is a serious problem affecting crop yield and productivity. The process of seed quality deterioration is determined by the combined influence of various factors of both exogenous and endogenous origin. Storage conditions — particularly environmental temperature, relative humidity, atmospheric composition and microbial activity — are critical factors determining the kinetics of deterioration. This article examines the main causes of the decline in the sowing qualities of stressed cereal crops during storage. The mechanisms of their impact and consequences, as well as specific manifestations, are systematised. Particular attention is paid to factors such as the release of stress-induced ethylene and the remote influence of stressed seeds on intact ones. In particular, the process of biochemical and physiological degradation of cereal crops under the influence of stress-induced ethylene is described in detail. The results of a quantitative assessment of the destructive effect of volatile metabolites from stressed grain on the viability of intact wheat and barley seeds in an airtight environment are presented.

Keywords: seeds, storage, spoilage, ethanol, cereal crops.**Введение**

Семена, являясь основными структурами размножения, играют ключевую роль в эволюции и выживании высших растений [1]. Сохранение способности к прорастанию служит основой для выполнения их репродуктивной функции. Способность семян к прорастанию достигает пика при физиологической зрелости или когда семена, находящиеся в состоянии покоя, приобретают максимальную жизнеспособность в результате последозревания и/или стратификации. Надежное прогнозирование срока сохранения жизнеспособности семян (т. е. срока хранения или долговечности) уже более 100 лет остается актуальной проблемой для фермеров и семеноводческой отрасли [2]. Сегодня наше понимание факторов, влияющих на долговечность семян, углубилось, а использование контролируемых условий для продления жизнеспособности семян привело к значительным достижениям в области создания генетических банков.

Основные результаты

Существенное влияние на период, в течение которого семена сохраняют жизнеспособность и который определяет их долговечность, оказывают условия окружающей среды во время хранения, включая температуру, равновесную относительную влажность (RH) и давление кислорода. На рис. 1 показаны факторы, влияющие на долговечность семян, и процессы, связанные с их старением.

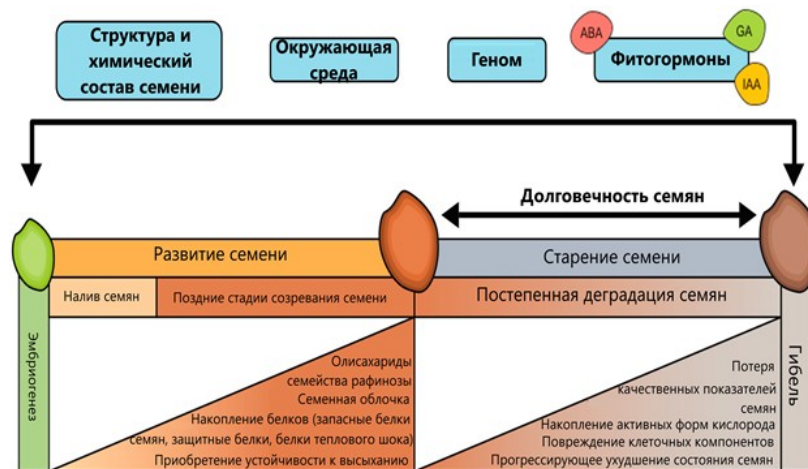


Рисунок 1 - Факторы, влияющие на долговечность семян, и процессы, связанные с развитием и старением семян

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.70.15.1>

Примечание: по ист. [3]

Порча семян приводит к накоплению активных форм кислорода (АФК), причем митохондрии являются основным источником АФК в растительных клетках. Изменения в процессах окисления и уровне окислительных радикалов считаются типичными проявлениями стресса, вызванного воздействием окружающей среды, и процесса старения.

АФК включают гидроксильные радикалы, синглетный кислород и пероксид водорода в клетках растений, что активирует сигнальные пути, приводящие к некоторым изменениям физиологических, биохимических и молекулярных механизмов клеточного метаболизма [4]. Неотъемлемой частью этих сигнальных путей при стрессе является интенсивная генерация этилена, который выступает в роли эндогенного триггера ускоренного старения и запускает каскад деструктивных процессов в тканях семян. Чрезмерное количество АФК вызывает окислительный стресс, состояние дисбаланса между производством АФК и нейтрализацией свободных радикалов антиоксидантами, что приводит к повреждению клеточных компонентов, включая липиды, нуклеиновые кислоты, метаболиты и белки, что в конечном итоге влечет за собой гибель клеток растений. В условиях массового хранения зерна данные процессы выходят за пределы отдельного семени: летучие продукты стрессового метаболизма и эманации этилена способны оказывать дистанционное влияние на окружающие интактные семена, индуцируя в них вторичный окислительный стресс и снижая общую жизнеспособность партии.

Таким образом, чтобы улучшить устойчивость растений к суровым условиям окружающей среды, жизненно важно иметь четкое понимание причин снижения посевных качеств, механизма окислительного стресса и антиоксидантных систем. С учетом отмеченного очевидной является необходимость систематизации новых знаний и научных достижений в данной предметной области, что и обусловило выбор темы данной статьи.

Анализ количественного и качественного состава патогенов, передающихся с посевным материалом, а также всхожесть семян, которая может различаться в зависимости от степени инфицирования, проводят в своих трудах Левин В.И., Антипкина Л.А., Ступин А.С. [5], Sharma Loveleen, Charanjiv Singh Saini, Vinita Sharma [6].

Результаты полногеномных и обратных генетических исследований *Arabidopsis thaliana*, которые подчеркнули важную роль окислительного стресса в старении семян и выявили гены, участвующие в метаболизме АФК и детоксикации, описывают Аммосов И.Н., Дондочков Ю.Ж., Дринча В.М., Котлярчук Я.М. [7], Girna Abayeneh, Aleka Aemiro [8], Чаплыгин М.Е., Степанов К.А. [9], Yildirim, Ertan [10].

Отдельного внимания заслуживает специальный выпуск журнала Applied Sciences, который относится к разделу «Наука и технология пищевых продуктов» [11]. В нем представлены различные исследования, в которых подчеркиваются достижения в области переработки зерна, обусловленные прогрессом в биотехнологии и необходимостью продолжения научных изысканий для повышения питательной ценности пищевых продуктов.

Также хотелось бы отметить научные достижения, сделанные междисциплинарным и межотраслевым коллективом ученых и других экспертов, входящих в сеть COST Action PlantEd, которая в основном состоит из европейцев, но включает в себя ученых из США, Австралии, Канады, Китая, Индии, Ирана, Пакистана и Перу. Авторы рассматривают новейшие технологии и их применение в отношении зерновых культур, включая обеспечение их устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам, улучшение качества, производство лекарственных препаратов, повышение урожайности и адаптацию к изменению климата. Также анализируются нормативные акты различных стран мира, патентоспособность и общественное восприятие применения новых геномных технологий [12].



В работах Агажановой Л.М., Нұрбековой Ж.А., Темирханова А.Ж., Сулейменовой Т.Е., Сайлау М.Д., Қызықбайқызы Ф. [13], Камбулова С. И., Подлесного Д. С. [14], Shuanghe Cao, Bingyan Liu, Daowen Wang, Awais Rasheed, Lina Xie, Xianchun Xia, Zhonghu He [15] презентованы современные данные о синергетическом молекулярном механизме, лежащем в основе синтеза белков, запасаемых в семенах и крахмала в ведущих зерновых культурах. Авторы оценивают функциональную консервацию и дифференциацию ключевых регуляторов, что позволило им определить возможные исследовательские подходы для выявления дополнительных регуляторов и расширения понимания проблемы снижения посевных качеств стрессированных семян зерновых культур при хранении. Кроме того, учеными сформулированы основные стратегии использования полученной информации для одновременного улучшения урожайности и качества с помощью молекулярной селекции.

Благодаря наработкам Левина В.И., Дудина Н.Н., Антипкиной Л.А., Ушакова Р.Н. [16], Павловой О.В., Марченковлй Л.А., Чавдаря Р.Ф., Орловой Т.Г., Савоськиной О.А. [17] собран значительный массив экспериментальных данных, которые составили основу разработки метода диагностики уровня стресса, индуцированного повреждающими воздействиями различной природы, у семян. В процессе исследования оценка уровня стресса выполнялась с использованием включенной в методику шкалы дифференциации уровня стресса, в которой отражены наиболее стрессочувствительные к воздействию стресс-факторов морфофизиологические показатели проростков и семян (скорость и энергия прорастания семян, длина coleoptile, концентрация стрессового этилена в межсеменной воздушной среде).

Несмотря на значительный прогресс в изучении процессов старения семян, остаются недостаточно раскрытыми механизмы взаимодействия предуборочных стрессов и условий хранения, определяющие скорость деградации их жизнеспособности. Кроме того, еще нужно глубже разобраться, какую роль молекулярные системы защиты и восстановления играют в том, чтобы семена не теряли всхожесть, и найти работающие способы замедлить ухудшение их качества.

Опираясь на отмеченное, **цель статьи** можно сформулировать так — разобрать основные причины, из-за которых у стрессированных семян зерновых культур при хранении снижаются посевные качества.

На то, как долго семена сохраняются при хранении, сильно влияют и внешние, и внутренние причины. К внешним относятся сами условия хранения: температура, относительная влажность, газовый состав окружающей среды, а также биотические факторы. При этом важно учитывать, что связь между температурой хранения, влажностью семян и тем, сколько они хранятся, не всегда бывает постоянной и тем более не обязательно остается линейной в тех пределах, в которых обычно ведутся измерения [1].

Среди внутренних факторов в первую очередь стоит назвать семенную оболочку. По сути, она выступает главным защитным барьером между зародышем и внешней средой и через это влияет на то, как семя обменивается водой и газами. Чаще всего этот обмен идет через семядольное отверстие — особую структуру, которая в период созревания семян помогает доставлять продукты фотосинтеза к зародышу, пока тот продолжает развиваться. Структурная целостность семядольного отверстия напрямую влияет на содержание влаги в семенах: семена с высоким отверстием демонстрируют ускоренные темпы порчи из-за усиления ферментативных и окислительных реакций, что делает их непригодными для длительного хранения. Нарушение целостности семенной оболочки предрасполагает семена к колонизации микроорганизмами и ускоряет порчу, способствуя преждевременной мобилизации запасов (например, гидролизу липидов, разложению крахмала) [7].

Таким образом снижение качества семян зерновых культур (в частности, пшеницы и ячменя), подвергнутых стрессовым воздействиям, представляет собой комплексный деструктивный процесс. При хранении таких семян запускаются механизмы ускоренного старения и деградации биологического потенциала.

Ниже представлена подробная научная систематизация факторов, обуславливающих потерю посевных и технологических кондиций зерна.

Таблица 1 - Факторы снижения качества стрессированных семян пшеницы и ячменя при хранении

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.70.15.2>

Категория факторов	Механизмы воздействия и последствия	Специфические проявления
Физиологические и биохимические процессы	Глубокая дезорганизация метаболизма, вызванная предшествующим стрессом	Интенсивная генерация фитогормона этилена; инактивация ферментных систем; деградация клеточных мембран и органелл
Абиотические факторы среды	Воздействие параметров внешней среды на термодинамическое равновесие зерновой массы	Превышение критической влажности; колебания температурного режима; изменение парциального давления газов (накопление CO ₂).
Биотические факторы	Активизация жизнедеятельности сопутствующей микробиоты и энтомофауны	Микологическое поражение (плесневение); развитие фитопатогенных грибов и

Категория факторов	Механизмы воздействия и последствия	Специфические проявления
		бактерий; повреждение вредителями запасов.
Механические повреждения	Нарушение целостности морфологических структур зерновки	Макротравмы (дробление, сколы оболочки); микротравмы зародыша; эндогенные стрессовые трещины (интерстадиальные разрушения)
Дистанционное влияние (аллелопатия)	Перекрестное воздействие продуктов метаболизма в закрытом объеме хранилища	Эмиссия летучих органических соединений стрессированными семенами, провоцирующая порчу интактных (здоровых) единиц
Нарушения регламента хранения	Отступление от научно обоснованных технологических режимов	Недостаточная аэрация; самосогревание зерновой массы; отсутствие мониторинга физиологического состояния

Примечание: составлено автором

Резкая интенсификация дыхательного метаболизма в семенах пшеницы и ячменя, подвергшихся стрессу, инициирует деструктивные изменения качественных показателей. Данный процесс сопряжен с неминуемой потерей массы сухих веществ; при этом генерируемая в ходе дыхания гигроскопическая влага аккумулируется в межзерновом пространстве. Избыток влаги запускает замкнутый цикл: микрофлора активизируется, ускоряя биохимический распад. Процесс необратим. На фоне метаболической лабильности (неустойчивости обмена) стресс-факторы инициируют гидролиз полимеров. Сложная органика — белки и крахмал — переходит в низкомолекулярные формы. Для патогенов это идеальный субстрат. Заражение ускоряется.

Параллельно разрушается структура тканей. Резкие скачки температуры или влажности создают эндогенные трещины. Эти морфологические дефекты работают как шлюзы для инфекций. Через них же внутрь проникает кислород. Итог — лавинообразное окисление липидов. Особое внимание следует уделить синергетическому эффекту, возникающему при наложении механических повреждений на факторы повышенной влажности. В таких условиях темпы сокращения долговечности семенного материала возрастают нелинейно, что делает их несопоставимыми с показателями сохранности интактных партий. Центральным звеном в реализации этого негативного сценария выступает специфический газообмен внутри насыпи.

Жизнеспособность и энергия прорастания семян зерновых культур, во многом зависят от уровня выделения стрессового этилена и чувствительности к нему. Физиологическое состояние и потенциал прорастания связаны с взаимодействием этилена и оксида азота, а также с процессами биосинтеза и сигналинга этилена. Установлено, что чувствительность зародышей к этилену, рассматриваемому как фактор, регулирующий прорастание, может изменяться под влиянием NO [3].

В результате проведения многочисленных опытных экспериментов удалось доказать и теоретически обосновать ведущую роль фитогормона этилена, выделяемого поврежденными (стрессированными) семенами в формировании физиологических модификаций (в диапазоне от стимуляции прорастания до утраты всхожести и летального эффекта) у интактных семян в процессе послеуборочного хранения [11]. Экспериментально на семенах различных видов и сортов зерновых культур установлена их способность на воздействие стресс-факторов отвечать неспецифической адаптационной реакцией, сопровождающейся интенсивным продуцированием стрессового этилена [12]. Хроническое состояние стресса у поврежденных семян сопровождалось динамичным нарастанием концентрации экзогенного стрессового этилена в замкнутом воздухо- и этиленонепроницаемом объеме воздушной среды хранящихся семян.

На основе имеющихся публикаций удалось систематизировать механизмы воздействия стрессового этилена на посевные показатели зерновых культур. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Роль стрессового этилена в снижении качества семенного материала при хранении

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.70.15.3>

Направление воздействия	Механизм биохимической и физиологической деструкции	Последствия для посевных качеств
Гормональный дисбаланс	Нарушение количественного соотношения между абсцизовой кислотой и цитокининами под влиянием избыточной концентрации этилена	Выход семян из состояния глубокого физиологического покоя; преждевременное набухание
Ферментативная активация	Индукция синтеза	Истощение энергетических

Направление воздействия	Механизм биохимической и физиологической деструкции	Последствия для посевных качеств
	гидролитических ферментов, ответственных за распад крахмала (амилазы) и белков (протеазы)	ресурсов эндосперма; снижение силы начального роста проростка
Деградация клеточных мембран	Активация процессов перекисного окисления липидов, приводящая к нарушению целостности плазматических мембран и утечке электролитов	Снижение жизнеспособности зародыша; потеря способности к формированию полноценного проростка
Дистанционная индукция стресса	Диффузия молекул этилена от поврежденных зерен к неповрежденным (интактным) через межзерновое пространство	Массовое снижение энергии прорастания во всем объеме насыпи (цепная реакция деградации)
Стимуляция дыхания	Автокаталитическое усиление интенсивности дыхательного метаболизма под воздействием накопленного газа	Выделение избыточного тепла и метаболической влаги; создание условий для самосогревания партии
Провокация микробиологической порчи	Ослабление естественного иммунного барьера семени и накопление простых сахаров на поверхности оболочки	Рост восприимчивости к плесневению; поражение фитопатогенными грибами в процессе хранения

В отличие от других факторов (влажность, температура), воздействие этилена часто носит скрытый характер и проявляется внезапным и резким падением всхожести при внешне благополучном состоянии зерновой насыпи.

Отдельный акцент необходимо сделать на том, что современная парадигма хранения семян зерновых культур дополнилась экспериментально доказанными и теоретически обоснованными ранее неизвестными сведениями о способности воздушно-сухих стрессированных семян дистанционно индуцировать физиологические модификации у интактных (неповрежденных, целостных), что обусловлено влиянием экзогенного этилена, идентифицированного в газообразных летучих выделениях стрессированных семян [5].

Ключевым индикатором дистанционного воздействия является градиент концентрации стрессового этилена (C₂H₄) и сопряженное с ним снижение энергии прорастания интактных (здоровых) семян, находящихся в одном объеме со стрессированными объектами. Всемирно известной организацией International Seed Testing Association были проведены испытания семян пшеницы мягкая (сорт «Paragon») и ячменя двурядного (сорт «Barker»). Исследование проводилось в изолированных камерах при температуре 20°C и влажности 14%. Контроль динамики межзерновой среды осуществлялся методом высокоточной газовой хроматографии. С полученными результатами можно ознакомиться в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты эксперимента

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.70.15.4>

Доля стрессированных семян в общей массе, %	Концентрация этилена в межзерновом пространстве, мкл/л	Энергия прорастания интактных семян (4-е сутки), %	Всхожесть интактных семян (7-е сутки), %	Интенсивность дыхания массы, мг CO ₂ / (кг·ч)
0 (контроль)	0,01–0,05	96	98	0,45
5	0,8	88	92	1,2
10	2,5	74	81	2,85
20	5,6	52	64	6,4

Примечание: по ист. [10]

Критический уровень для сортов «Paragon» и «Barker» зафиксирован на отметке 0,80 мкл/л. При таких значениях энергия прорастания падает более чем на 10%. Примесь травмированного зерна в объеме всего 5% запускает деградацию всей массы через газовую фазу. Интенсивность дыхания при росте доли стрессовых семян увеличивается кратно: с 0,45 до 6,40 мг CO₂ / (кг·ч). Реакция носит автокаталитический характер. Наличие 20% стрессированной фракции в герметичной среде обрушивает всхожесть здорового зерна до 64%.



Заключение

За последние 50 лет наука о хранении семян прошла путь от необоснованных «эмпирических правил» до основанных на экспериментальных данных достижений в области биохимии, геномике и биофизике. В статье освещено многофакторное воздействие, обуславливающее снижение качества стрессированных семян зерновых культур в процессе хранения. Отдельно выделены такие факторы как физиологические и биохимические процессы, абиотические и биотические факторы, механические повреждения, нарушение режима хранения. Отдельный акцент сделан на выделении стрессового этилена и дистанционном влиянии стрессированных семян на интактные.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Коробейников А.С. Зависимость всхожести и энергии прорастания семян зерновых культур от условий хранения / А.С. Коробейников, Л.Ф. Ашмарина // Защита и карантин растений. — 2024. — № 1. — С. 18–19.
2. Sadri-Saeen Z. Improving the microbial quality and sensory properties of pasteurized sweet cream butter during refrigerated storage using chia seed ethanolic extract / Z. Sadri-Saeen, M. Khani, V. Fadaei // Food Science & Nutrition. — 2023. — Vol. 12. — Iss. 1. — P. 14–19.
3. Pirredda M. Seed Longevity and Ageing: A Review on Physiological and Genetic Factors with an Emphasis on Hormonal Regulation / M. Pirredda [et al.] // Plants. — 2024. — Vol. 13. — P. 87–94.
4. Бречко Е.В. Комплекс мероприятий по защите семян зерновых культур в период хранения от вредителей запасов / Е.В. Бречко // Защита растений. — 2025. — № 49. — С. 130–144.
5. Левин В.И. Последствие стресс-факторов на прорастание и посевные качества семян зерновых культур / В.И. Левин, Л.А. Антипкина, А.С. Ступин // Вестник Курганской ГСХА. — 2023. — № 4 (48). — С. 3–10.
6. Loveleen Sh. Effect of sesame protein and lotus seed starch based bioactive coatings enriched with *Garcinia indica* extract on sapodilla during storage / Sh. Loveleen, Ch. Singh Saini, V. Sharma // Journal of Food Processing and Preservation. — 2022. — Vol. 46. — Iss. 10. — P. 100–108.
7. Аммосов И.Н. Технологические и организационные аспекты безопасного хранения семян / И.Н. Аммосов, Ю.Ж. Дондоков, В.М. Дринча [и др.] // Вестник АГАТУ. — 2023. — № 2 (10). — С. 31–38.
8. Abayeneh G. Evaluation of Soil *Streptomyces* Isolates from North-Western Ethiopia as Potential Inhibitors against Spoilage and Foodborne Bacterial Pathogens / G. Abayeneh, A. Aemiro // Journal of Chemistry. — 2022. — Vol. 20. — Iss. 1. — P. 20–29.
9. Чаплыгин М.Е. Техничко-экономическая эффективность применения многофункциональных контейнеров в первичном семеноводстве зерновых культур / М.Е. Чаплыгин, К.А. Степанов // Инженерные технологии и системы. — 2024. — Т. 34. — № 1. — С. 44–71.
10. Seed Biology: New Advances / Ed. by E. Yildirim [et al.]. — IntechOpen, 2024. — 287 p.
11. Codinã G.G. Trends in Grain Processing for Food Industry / G.G. Codinã, A. Dabija. — Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2025. — 301 p.
12. Lozanović-Miladinović D. A Roadmap for Plant Genome Editing / D. Lozanović-Miladinović, K. van Laere; ed. by A. Ricroch [et al.]. — Springer Nature Switzerland, 2024. — 254 p.
13. Агажанова Л.М. Обзор современных подходов к предпосевной обработке семян (праймингу) для повышения устойчивости сельскохозяйственных культур к стрессам / Л.М. Агажанова, Ж.А. Нұрбекова, А.Ж. Темирханов [и др.] // Central Asian Scientific Journal. — 2025. — Т. 3. — № 4 (28). — С. 418–441.
14. Камбулов С.И. Продуктивность озимой пшеницы при различных технологиях ее возделывания / С.И. Камбулов, Д.С. Подлесный // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. — 2025. — № 6 (84). — С. 464–472.
15. Shuanghe Cao. Orchestrating seed storage protein and starch accumulation toward overcoming yield—quality trade-off in cereal crops / Shuanghe Cao, Bingyan Liu, Daowen Wang [et al.] // Journal of Integrative Plant Biology. — 2024. — Vol. 66. — Iss. 3. — P. 50–58.
16. Левин В.И. Состояние стресса у семян хлебных злаков и методика его диагностики / В.И. Левин, Н.Н. Дудин, Л.А. Антипкина, Р.Н. Ушаков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2020. — № 5 (187). — С. 28–38.
17. Павлова О.В. Оценка сортов зерновых культур по показателям качества семян и стрессоустойчивости / О.В. Павлова, Л.А. Марченкова, Р.Ф. Чавдарь [и др.] // Владимирский земледелец. — 2021. — № 2 (96). — С. 52–57.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Korobeinikov A.S. Zavisimost vskhozhesti i energii prorstaniya semyan zernovikh kultur ot uslovii khraneniya [The dependence of the germination rate and germination energy of cereal seeds on storage conditions] / A.S. Korobeinikov, L.F. Ashmarina // Zashchita i karantin rastenii [Plant Protection and Quarantine]. — 2024. — № 1. — P. 18–19. [in Russian]



2. Sadri-Saeen Z. Improving the microbial quality and sensory properties of pasteurized sweet cream butter during refrigerated storage using chia seed ethanolic extract / Z. Sadri-Saeen, M. Khani, V. Fadaei // *Food Science & Nutrition*. — 2023. — Vol. 12. — Iss. 1. — P. 14–19.
3. Pirredda M. Seed Longevity and Ageing: A Review on Physiological and Genetic Factors with an Emphasis on Hormonal Regulation / M. Pirredda [et al.] // *Plants*. — 2024. — Vol. 13. — P. 87–94.
4. Brechko Ye.V. Kompleks meropriyatii po zashchite semyan zernovikh kultur v period khraneniya ot vreditelei zapasov [A set of measures to protect cereal seeds from storage pests during storage] / Ye.V. Brechko // *Zashchita rastenii* [Plant Protection]. — 2025. — № 49. — P. 130–144. [in Russian]
5. Levin V.I. Posledeistvie stress-faktorov na prorastanie i posevnie kachestva semyan zernovikh kultur [The after-effects of stress factors on the germination and sowing qualities of cereal seeds] / V.I. Levin, L.A. Antipkina, A.S. Stupin // *Vestnik Kurganskoi GSKhA* [Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy]. — 2023. — № 4 (48). — P. 3–10. [in Russian]
6. Loveleen Sh. Effect of sesame protein and lotus seed starch based bioactive coatings enriched with *Garcinia indica* extract on sapodilla during storage / Sh. Loveleen, Ch. Singh Saini, V. Sharma // *Journal of Food Processing and Preservation*. — 2022. — Vol. 46. — Iss. 10. — P. 100–108.
7. Ammosov I.N. Tekhnologicheskie i organizatsionnye aspekti bezopasnogo khraneniya semyan [Technological and organisational aspects of safe seed storage] / I.N. Ammosov, Yu.Zh. Dondokov, V.M. Drincha [et al.] // *Vestnik AGATU* [ASATU Bulletin]. — 2023. — № 2 (10). — P. 31–38. [in Russian]
8. Abayeneh G. Evaluation of Soil *Streptomyces* Isolates from North-Western Ethiopia as Potential Inhibitors against Spoilage and Foodborne Bacterial Pathogens / G. Abayeneh, A. Aemiro // *Journal of Chemistry*. — 2022. — Vol. 20. — Iss. 1. — P. 20–29.
9. Chaplign M.E. Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost primeneniya mnogofunktionalnykh konteynerov v pervichnom semenovodstve zernovikh kultur [Technical and economic efficiency of using multifunctional containers in primary seed production for cereal crops] / M.E. Chaplign, K.A. Stepanov // *Inzhenernie tekhnologii i sistemi* [Engineering Technologies and Systems]. — 2024. — Vol. 34. — № 1. — P. 44–71. [in Russian]
10. *Seed Biology: New Advances* / Ed. by E. Yildirim [et al.]. — IntechOpen, 2024. — 287 p.
11. Codinã G.G. Trends in Grain Processing for Food Industry / G.G. Codinã, A. Dabija. — *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 2025. — 301 p.
12. Lozanović-Miladinović D. A Roadmap for Plant Genome Editing / D. Lozanović-Miladinović, K. van Laere; ed. by A. Ricroch [et al.]. — Springer Nature Switzerland, 2024. — 254 p.
13. Agazhanova L.M. Obzor sovremennikh podkhodov k prepovevnoi obrabotke semyan (praimingu) dlya povsheniya ustoichivosti selskokhozyaistvennykh kultur k stressam [A review of modern approaches to pre-sowing seed treatment (priming) to enhance the stress tolerance of agricultural crops] / L.M. Agazhanova, Zh.A. Nyrbekova, A.Zh. Temirkhanov [et al.] // *Central Asian Scientific Journal* [Central Asian Scientific Journal]. — 2025. — Vol. 3. — № 4 (28). — P. 418–441. [in Russian]
14. Kambulov S.I. Produktivnost ozimoi pshenitsi pri razlichnykh tekhnologiyakh yee vozdelivaniya [Winter wheat yield under various cultivation technologies] / S.I. Kambulov, D.S. Podlesnii // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i visshie professionalnoe obrazovanie* [Proceedings of the Lower Volga Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education]. — 2025. — № 6 (84). — P. 464–472. [in Russian]
15. Shuanghe Cao. Orchestrating seed storage protein and starch accumulation toward overcoming yield—quality trade-off in cereal crops / Shuanghe Cao, Bingyan Liu, Daowen Wang [et al.] // *Journal of Integrative Plant Biology*. — 2024. — Vol. 66. — Iss. 3. — P. 50–58.
16. Levin V.I. Sostoyanie stressa u semyan khlebnikh zlakov i metodika yego diagnostiki [Stress conditions in cereal seeds and methods for their diagnosis] / V.I. Levin, N.N. Dudin, L.A. Antipkina, R.N. Ushakov // *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agrarian University]. — 2020. — № 5 (187). — P. 28–38. [in Russian]
17. Pavlova O.V. Otsenka sortov zernovikh kultur po pokazatelyam kachestva semyan i stressoustoichivosti [Evaluation of cereal crop varieties based on seed quality and stress resistance] / O.V. Pavlova, L.A. Marchenkova, R.F. Chavdar [et al.] // *Vladimirskii zemledelets* [Vladimir farmer]. — 2021. — № 2 (96). — P. 52–57. [in Russian]