

УДК 53.06, 633.111.1, 664.7

DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0013

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МАЛЫХ ДОЗ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОРАЩИВАНИЯ ПШЕНИЦЫ

© Автор(ы) 2021

SPIN: 7663-1784

Author ID: 450578

ORCID: 0000-0002-4777-1465

ResearcherID: C-3922-2018

ScopusID: 57203766629

**ТИМАКОВА Роза Темерьяновна**, доктор технических наук,  
профессор кафедры пищевой инженерии

*Уральский государственный экономический университет*

(620144, Россия, Екатеринбург, улица 8 марта/Народной воли, 62/45, e-mail: trt64@mail.ru)

ORCID: 0000-0001-5581-3963

**ИЛЮХИНА Юлия Владимировна**, аспирант

*Уральский государственный экономический университет*

(620144, Россия, Екатеринбург, улица 8 марта/Народной воли, 62/45, e-mail: janine86@mail.ru)

ORCID: 0000-0001-9269-9717

**ИЛЮХИН Руслан Васильевич**, аспирант

*Уральский государственный экономический университет*

(620144, Россия, Екатеринбург, улица 8 марта/Народной воли, 62/45, e-mail: iruslan@sputniksattv.ru)

старший преподаватель кафедры безопасности информационных систем

*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича*

(192232, Россия, Санкт-Петербург, проспект Большевиков, 22 к. 1, e-mail: iruslan@sputniksattv.ru)

**Аннотация.** Технология контролируемого проращивания в результате радиостимуляции зерен пшеницы мягкой яровой сорта Л-503 позволила установить оптимальные стимулирующие дозы в пределах от 9 Гр до 13 Гр излучения. В результате проведенного исследования установлено, что применение оптимальных доз излучения обеспечивает высокую энергию прорастания через 3-е суток в результате снижения проницаемости мембран для воды, как среды для проращивания, со всхожестью в 95,7-97,0% зерен пшеницы и полностью соответствующую способности прорастания через 5 суток со всхожестью зерен 96,6-97%, пророщенные зерна пшеницы отличаются крепкими проростками длиной до 1,9 мм. При использовании для проращивания зерен пшеницы через 7 суток после их обработки излучением обеспечивается пролонгированное действие малых доз стимулирующего характера по сравнению с необлученными образцами и, обеспечивая высокую всхожесть пшеницы, отличаются более низкими количественными показателями: на 0,5-0,7% для зерен, обработанных дозами 1-4 Гр, на 0,9-1,2% и на 1,0-1,7% для зерен, обработанных дозами 5-8 Гр и 9-13 Гр соответственно. Всхожесть зерен, обработанных дозами от 14 Гр до 20 Гр, снизилась на 2,4-3,2%. На 5-е сутки после проращивания зерен пшеницы, обработанных малыми дозами излучения наблюдается более интенсивное увеличение аминокислотного сора аминокислот (АКС) по сравнению с необработанными образцами на аналогичном периоде проращивания. АКС аминокислот в опытных образцах пшеницы, обработанной излучением дозой 9-13 Гр, увеличился от 0,64% по изолейцину до 8,25% по лизину. Установлены лимитирующие аминокислоты – лизин и треонин. Лучшими показателями биологической ценности отличаются обработанные оптимальными дозами излучения зерна пшеницы при проращивании до пяти суток. Исследование микробиальной обсемененности (микроорганизмы, грибная микробиота) поверхности зерен показывает поддерживающий антимикробный эффект. Для регуляции механизма ферментативной активности протеаз в зерне пшеницы после обработки малыми дозами излучения, которые влияют на энергию и способность прорастания зерен пшеницы, необходимо последовательное продолжение исследований.

**Ключевые слова:** радиостимуляция, проращивание, пророщенное зерно, ростки (проростки), всхожесть, энергия прорастания, способность прорастания, пшеница мягкая яровая сорт Л-503, излучение, доза, Гр, аминокислотный скар, аминокислоты.

## STUDY OF THE EFFECT OF LOW RADIATION DOSES ON THE INTENSITY OF WHEAT GERMINATION

© The Author(s) 2021

**ТИМАКОВА Roza Temer'janovna**, doctor of technical sciences,  
professor of the Department of Food Engineering

*Ural State University of Economics*

(620144, Russia, Yekaterinburg, 8 Marta Street/Narodnaya Volya, 62/45, e-mail: trt64@mail.ru)

**ILIUKHINA Iuliia Vladimirovna**, phd student*Ural State University of Economics**(620144, Russia, Yekaterinburg, 8 Marta Street/Narodnaya Volya, 62/45, e-mail: janine86@mail.ru)***ILIUKHIN Ruslan Vasilievich**, phd student*Ural State University of Economics**(620144, Russia, Yekaterinburg, 8 Marta Street/Narodnaya Volya, 62/45, e-mail: iruslan@sputniksattv.ru)*

Senior lecturer of the Department of Information Systems Security

*Sankt-St. Petersburg State University of Telecommunications named after Prof. M.A. Bonch-Bruевич**(192232, Russia, St. Petersburg, Bolshevikov Avenue, 22 K. 1, e-mail: iruslan@sputniksattv.ru)*

**Abstract.** The technology of controlled germination as a result of radio stimulation of wheat grains of the soft spring variety L-503 allowed to establish optimal stimulating doses ranging from 9 Gy to 13 Gy of radiation. As a result of the study, it was found that the use of optimal radiation doses provides high germination energy after 3 days as a result of a decrease in the permeability of membranes for water as a medium for germination, with a germination rate of 95.7-97.0% of wheat grains and fully corresponding to the germination ability after 5 days with a germination rate of 96.6-97%, germinated grains wheat is distinguished by strong seedlings up to 1.9 mm long. When used for germination of wheat grains, 7 days after their treatment with radiation, the prolonged effect of small doses of a stimulating nature is provided in comparison with non-irradiated samples and, providing high germination of wheat, differ in lower quantitative indicators: by 0.5-0.7% for grains treated with doses of 1-4 Gy, by 0.9-1.2% and by 1.0-1.7% for grains treated with doses of 5-8 Gy and 9-13 Gy, respectively. The germination of grains treated with doses from 14 Gy to 20 Gy decreased by 2.4-3.2%. On the 5th day after germination of wheat grains treated with small doses of radiation, a more intense increase in the amino acid score of amino acids (ACS) is observed compared to untreated samples during the same germination period. The AKS of amino acids in experimental wheat samples treated with radiation dose of 9-13 Gy increased from 0.64% for isoleucine to 8.25% for lysine. Limiting amino acids – lysine and threonine – have been established. The best indicators of biological value are those treated with optimal radiation doses of wheat grains during germination for up to five days. The study of microbial contamination (microorganisms, fungal microbiota) of the grain surface shows a supportive antimicrobial effect. To regulate the mechanism of enzymatic activity of proteases in wheat grain after treatment with small doses of radiation, which affect the energy and germination ability of wheat grains, it is necessary to consistently continue research.

**Keywords:** radio stimulation, germination, sprouted grain, sprouts (seedlings), germination, germination energy, germination ability, soft spring wheat grade L-503, radiation, dose, Gy, amino acid score, amino acids.

**Для цитирования:** Тимакова Р.Т. Изучение влияния малых доз излучения на интенсивность прорастивания пшеницы / Р.Т. Тимакова, Ю.В. Ильюхина, Р.В. Ильюхин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 3(59). – С. 88-96. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0013.

**Введение.** В настоящее время согласно Прогнозу долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года и в соответствии со Стратегией формирования здорового образа жизни населения, профилактики и контроля неинфекционных заболеваний на период до 2025 года вопросы повышения функциональной ценности пищевых продуктов в условиях широкого распространения на современном этапе фаст-фуда, рафинированной пищи и общей гиподинамии населения определяют необходимость обогащения отдельными функциональными пищевыми ингредиентами пищевые продукты, или так называемые пищевые системы, для предотвращения или восполнения имеющегося в организме человека дефицита питательных веществ и/или собственной микрофлоры в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52349-2005.

Производство персонализированных функциональных пищевых продуктов позволяет в соответствии с потребительским спросом отдельных групп населения удовлетворять индивидуальные потребности организма человека на основе его генетического профиля и с учетом так называемых

«генов предрасположенности», связанных с усвоением определенных пищевых нутриентов [1].

Продукты переработки зерновых культур составляют основу рациона человека, начиная от муки в хлебопечении, крупяных и макаронных, кондитерских изделий и до пищевых концентратов.

В результате проводимых исследований отмечается повышение пищевой ценности зерна зерновых, крупяных, бобовых и масличных культур при его прорастивании. При этом в пищу можно использовать как проростки (спраутс) и микрозелень, так и собственно пророщенное зерно в естественном и переработанном виде.

Спраутс и микрозелень в основном используют в свежем виде. Предложение микрозелени в сушеном виде обеспечивает расширение ассортимента сушеной зелени на потребительском рынке и обогащение пищевого рациона населения за счет ценных ингредиентов зелени [2].

Экспериментальными исследованиями последних лет показано, пророщенные зерна применяются для обогащения биологически активными веществами, пищевыми волокнами, витаминами и микроэлементами при разработке пищевой продукции

функционального назначения: каш [3], напитков [4], кисломолочных продуктов [5], в салатах, гарнирах, хлопьях для завтраков, мучных и сахаристых кондитерских изделиях [6], в общественном питании [7]. Установлено увеличение суммарного содержания антиоксидантов в хакасском национальном продукте талган, изготовленного из пророщенного зерна пшеницы и ячменя [8].

В последние годы наблюдается повышенный интерес к использованию муки из проросшего зерна в хлебопечении. Проращивание зерна сопровождается значительным нарастанием его антиоксидантного потенциала и замедлением прогоркания липидов продукции, отмечают [9-11]. Исследованиями ученых [12] при проращивании зерен кукурузы, пшеницы и ячменя установлено резкое увеличение содержания фенолов и аскорбиновой кислоты.

Проращивание зерна считается одним из способов, улучшающим пищевую ценность и функциональные свойства зерна. Пророщенное зерно мягкой пшеницы содержит все незаменимые аминокислоты, удовлетворяет 105% суточной потребности в марганце (из расчета на 100г пророщенного зерна), 18,1% – в меди, 17,1% – в магнии, 40,0% – в витамине (B1), 18,5% – в клетчатке, отмечают белорусские ученые [13].

По мнению [14, 15], пророщенные зерна пшеницы, являются продуктивной средой для производства дрожжевой биомассы, которая при биоконверсии углеводных субстратов увеличивает продукцию полезных микроорганизмов за счет ферментации различных растительных субстратов, в результате чего полученные продукты с пребиотическими свойствами.

Ферменты, активированные при проращивании, что приводит к увеличению их содержания, расщепляют белки, жиры и углеводы, запасенные в зерне, и переводят их в легкоусвояемую форму [3, 16].

Активизация обменных процессов в пророщенном зерне во многом определяется подбором температурно-влажностного режима, освещенности и продолжительности выращивания, выбором состава субстрата с целью формирования наиболее оптимального технологического решения: проращивание в растворе йодида калия, селена, цинка, отваров корня и ягод, в плазмохимически активированных водных растворах [17-21], с использованием физических факторов – контроль дозы суточного искусственного освещения (оптимально использовать в течение 4 ч) [22], обработка ультразвуком [23, 24] для улучшения всхожести семян, роста ростков и повышения содержания отдельных химических нутриентов: сырого протеина, сырой клетчатки и углеводов.

Начиная с конца 20 века, одним из способов повышения биологического потенциала семян зерновых культур, как наиболее распространенных и востребованных культур, является применение методов физического воздействия, в частности ионизирующего излучения. Производственные

технологии развиваются в нескольких направлениях: первое – предпосевная подготовка для повышения всхожести семян зерновых культур и дальнейшего их роста и развития с одновременным снижением микробиологической обсемененности в АПК (при достижении симбиоза стимулирующего и ингибирующего воздействия); второе – обработка зерен зерновых культур для последующего использования зерен с проростками в качестве самостоятельных пищевых продуктов или в виде ингредиентов высокой биологической ценности при производстве разных видов пищевых продуктов в пищевой промышленности; третье, по данным [25] – использование определенных доз ионизирующего излучения для обработки сельскохозяйственного сырья растительного происхождения обеспечивает уничтожение вредителей, уменьшение обсемененности микроорганизмами и замедление созревания плодовоовощной продукции.

Исследованиями ученых устанавливаются первичные факторы активизации жизненных процессов в облученном зерне, ускорение темпов их прорастания и повышение пищевой ценности. С одной стороны, по мнению [26-28], стимуляция прорастания зерен излучением позволяет ослабить регуляторные механизмы ограничения функциональной активности зерен в состоянии метаболического покоя. С другой стороны, как отмечают [29-32], в клетках облученного зерна появляются скрытые повреждения и начинают усиливаться физико-химические процессы.

В соответствии с молекулярными механизмами роста и развития клетки выделяются в качестве основных систем геном и биомембрана, воздействие на которые излучением, ускоряет процесс биоактивации [27]. Энергия излучения преобразуется, главным образом, в свободные радикалы (рис. 1), которые вступают в реакцию с образованием сильных окислителей-гидроперекисей и радикала гидроксила при поступлении в зерна воды и кислорода [30], соответственно запускается процесс прорастания.

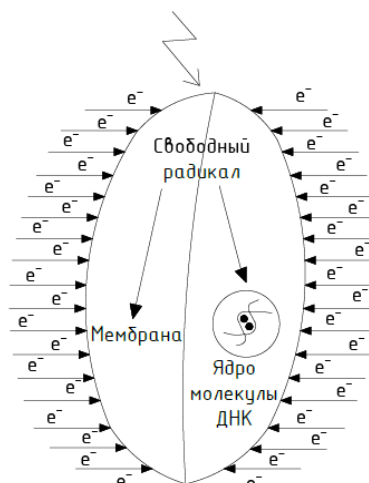


Рисунок 1 – Визуальное представление воздействия излучения на зерно

В результате активации генома происходит синтез белков и нуклеиновых кислот. При набухании семян в результате гидратации и осмоса за счет активизации ферментов жиры, белки, полисахариды преобразовываются в растворимое состояние, в результате дыхания и гликолиза осуществляется накопление АТФ и активация деления клеток зародыша, растет содержание фитогормонов, являющихся активаторами роста [33]. Аналогичного мнения придерживаются [34,35]: стимулирование прорастания на ранних стадиях связано со специфическими изменениями концентраций ключевых фитогормонов и паттернов экспрессии генов факторов метаболизма, что определяется мобильными элементами – ретротранспозонами растительного генома.

Соответственно, при облучении в стимулирующих дозах генетическая программа развития растения не меняется. В тоже время такие дозы достаточны для воздействия на регуляторные системы растения.

Анализ последних исследований показывает, что существуют данные о нестабильности стимулирующего эффекта и его модификации разными внешними и внутренними факторами. Так, по мнению [36], необходимо проводить оценку актуального диапазона стимулирующих доз для урожая разных лет, так анализ морфологических параметров проростков ячменя сорта Нур урожая 2016 года показал в качестве стимулирующей дозы 20 Гр, урожая 2017 года – 15 Гр, что может быть связано с особенностями накопления запасных белков в эндоспермах семян урожая разных лет, исходя из метеорологических условий.

По данным ВНИИРАЭ и других авторов для пшеницы стимулирующая доза гамма-излучения находится в пределах от 5 до 8 Гр, для льна 7,5-10 Гр, ячменя 10-30 Гр, просо 5-10 Гр и др. [37-39]. Исследованиями [40] установлено максимальное проявление эффекта гормезиса при проращивании зерен твердой пшеницы, облученных дозой 20 Гр. Информация предоставлена без учета сорта исследуемой продукции.

Обобщая эмпирический характер изученных результатов ранее проведенных исследований, можно отметить научно-практическую значимость исследований для формирования новой концепции повышения ценности зерновых продуктов в результате кратковременного воздействия на них малыми дозами излучения. По нашему мнению, для производства и последующего применения пророщенного зерна разных сельскохозяйственных культур в промышленных масштабах в разных отраслях пищевой промышленности необходимо проведение комплексных исследований в результате многоаспектного подхода: видовые и сортовые особенности, фактор активации и его благоприятное влияние, параметры производственного процесса, результативный фактор (ценность продукта) и др. Актуальность представленного материала

практических исследований авторов показана тем, что в ходе эксперимента установлены реперные точки, определяемые симбиотическим воздействием оптимальных доз излучения на зерна определенного сорта товарной пшеницы в минимально установленный период контролируемого проращивания для максимального повышения биологической ценности пшеницы в условиях эксперимента, что предопределяет необходимость выявления причинно-следственной связи между дозой излучения и сроками проращивания для достижений высоких результатов всхожести зерна пшеницы.

**Методология.** С учетом имеющейся информации, целью исследования является определение оптимальных стимулирующих доз излучения для радиостимуляции зерен пшеницы.

Выбор в качестве объекта исследования – пшеницы обусловлен тем, что зерно пшеницы является важнейшим сырьевым ресурсом растительного происхождения для разных отраслей пищевой промышленности в соответствии ИТС 44-2017 «Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство продуктов питания»: мукомольного, крупяного и макаронного производства; пивоваренной, спиртовой и хлебобулочной промышленности. Качество готового продукта зависит от качества исходного сырья и применяемых инновационных биотехнологических приемов повышения биологической ценности продукта [41].

Пшеница мягкая яровая сорт Л-503 – среднеспелый сорт, устойчив к предуборочному прорастанию, относится к ценной мягкой пшенице, по содержанию в муке желтых пигментов приближается к лучшим твердым пшеницам, выделяется повышенным содержанием в зерне белка и клейковины, распространен в Нижне- и Средневолжском, Уральском и Центрально-черноземном регионах, в Саратовской области. Зерна мягкой яровой пшеницы овальной формы, короткие, с хорошо различимой бороздкой, отличаются толщиной  $1,9 \pm 0,4$  мм, шириной  $1,6 \pm 0,5$  мм и длиной  $5,6 \pm 0,7$  мм. Масса 1000 семян -  $33,6 \pm 1,3$  г.

Сформированы контрольная и опытные группы № 1-20 (цифра обозначает дозу излучения в Гр). В каждой группе отобрано по 1000 семян. Отобранные зерна пшеницы соответствуют требованиям ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна», ГОСТ 9353-2016 «Пшеница. Технические условия», ГОСТ 27186-86 «Зерно заготавливаемое и поставляемое. Термины и определения».

Для активации образцы опытных групп зерен пшеницы обрабатывались дозами ионизирующего облучения от 1 Гр до 20 Гр с шагом 1 Гр с мощностью дозы 60 Гр в час при движении зерен пшеницы непрерывным потоком с условной шириной потока зерна  $1,0 \pm 0,1$  см.

Затем осуществлялось проращивание зерен в одинаковых условиях: температура воздуха в помещении  $+20-22^\circ\text{C}$ , освещение смешанное, влажность воздуха



70-75%. Для чистоты эксперимента и оценки влияния только ионизирующего излучения при проращивании не добавляли подкормки. Проращивание осуществлялось без земли на льняных подложках, являющихся экологически чистым биоразлагаемым материалом, температура воды ( $20 \pm 2$ )°C, pH среды 6,0-6,3, уровень воды был на 1,5-2,0 см выше поверхности зерна, с периодическим орошением зерен. Для проращивания зерно брали в течение первых суток после обработки излучением и до 7 суток после хранения такого зерна. Фенологические наблюдения осуществлялись 2 раза в сутки. Расчет энергии прорастания за 3 суток и способность прорастания зерна через 5 суток проводился согласно требований ГОСТ 10968-88. Влажность зерна определяли по ГОСТ 13586.5-2015 с использованием воздушно-тепловой суши, количество клейковины – по ГОСТ Р 54478-2011 путем отмывания клейковины ручным способом, массовую долю сырого протеина (белок) – по ГОСТ 10846-91 титриметрическим способом по Къельдалю, аминокислотный состав – по ГОСТ 32195-2013 с применением аминокислотного анализатора и по ГОСТ 31480-2012. Забор образцов микроорганизмов с поверхности зерна пшеницы осуществлялся путем смывов дистиллированной

водой, посев проводился на питательной среде в чашках Петри, подсчет колоний проводился через каждые 24 ч при температуре +28°C. Все исследования проводились по общепринятым методикам в пятикратной повторности.

**Результаты.** Согласно ГОСТ 27186-86 к пророщенному зерну относится зерно, вышедшее за пределы покровов корешками или ростками.

На первом этапе для проращивания были использованы зерна пшеницы в течение 1 дня после обработки излучением. В соответствии с полученными результатами исследований установлено, что зерна пшеницы мягкой яровой сорта Л-503 контрольной группы отличаются достаточно высокой энергией прорастания – 82,1%, когда на 3-е сутки начали проявляться проростки из-под плодовых и семенных оболочек, и по истечении 5 суток на фазе роста начали появляться сами ростки (проростки) длиной до 0,7-0,8 мм за счет незначительного увеличения способности к прорастанию на 1,9%, при дальнейшем проращивании до 6-7-и суток не установлено достоверного увеличения всхожести зерен – разница между результатами исследований находилась в пределах 0,01-0,02%, длина проростков увеличилась до 0,8-0,9 мм (рис. 2).

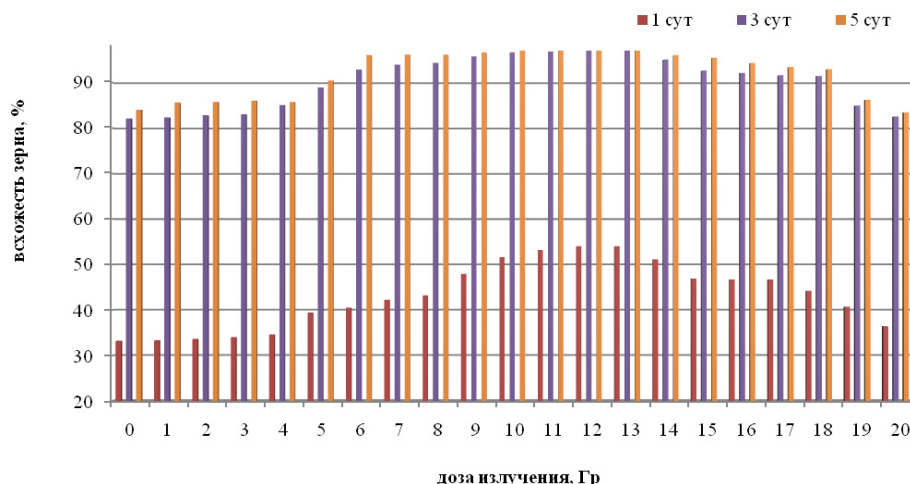


Рисунок 2 – Динамика всхожести зерен зерна пшеницы, необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения (от 1 Гр до 20 Гр) в процессе проращивания до 5 суток

После проведения обработки зерен пшеницы разными дозами ионизирующего излучения можно отметить увеличение процента всхожести в опытных группах. При облучении малыми дозами излучения (1-4 Гр) через трое суток происходит проявление проростков из-под оболочек и увеличение всхожести на 0,2-2,9% по сравнению с образцами контрольной группы, через 5 суток темпы замедляются и зафиксировано увеличение всхожести на 0,6-1,7% соответственно, при этом длина проростков равна 0,8-1,0 мм. Облучение дозами 5-8 Гр приводит к увеличению энергии прорастания на 6,8 -12,2% по сравнению с контрольными образцами и достижению показателей до 88,9% в образцах опытной группы № 5

и 94,3% – в образцах опытной группы № 8. Способность прорастания увеличивается незначительно – до 90,4% и 96,1% соответственно, длина проростков равна 0,9-1,1 мм. На 6-е сутки изменение всхожести в опытных группах зерен пшеницы, обработанных дозами 1-8 Гр, незначительно и составляет 0,1-0,7%. Проростки становятся более крепкими. Появляются зародышевые корешки. Обработка опытных образцов зерен пшеницы дозами от 9 Гр до 13 Гр показала высокую энергию прорастания и одновременное проклевывание проростков из-под оболочек в 95,7-97,0% зерен на 3-е сутки, в 96,6-97% зерен на 5-е сутки, что может говорить о стимулирующем эффекте таких доз излучения. В образцах, обработанных дозами 12-

13 Гр, процент всхожести на 3-5-6 сутки одинаков и составляет 97,0%. У пророщенных обработанных излучением зерен пшеницы проростки достигают длину  $(1,4-1,9) \pm 0,1$  мм на 5-е сутки, зародышевые корешки – до  $(1,0-1,4) \pm 0,1$  мм. С увеличением дозы излучения свыше 14 Гр (до 20 Гр) установлено незначительное уменьшение процента всхожести зерен по сравнению с опытными группами №№ 9-13, наименьший процент всхожести установлен в группах № 19 и № 20 – 84,9% и 82,5% соответственно через 3-е сутки и 86,2% и 83,4% на 5-е сутки соответственно. Длина проростков через пять суток составляет 1,4-1,5 мм. Полученные результаты выше, чем в контрольных образцах, и сопоставимы с образцами, обработанными низкими дозами – до 3 Гр. Можно отметить ингибирующее влияние доз свыше 14 Гр на процесс радиостимуляции роста зерен.

Полиномиальные уравнения второй степени прямого вида показывают зависимость изменения всхожести от дозы облучения с высокими коэффициентами корреляции – от 0,962 до 0,972 и представлены в таблице 1.

Изменение коэффициентов в уравнениях обусловлено обработкой излучением оптимальными дозами, установленными опытным путем.

На втором этапе для проращивания были использованы зерна через 7 дней после обработки ионизирующим излучением. Полученные результаты показывают, что установленные оптимальные дозы излучения соответствовали результатам первого этапа, однако всхожесть зерна ниже на 0,5-0,7% для зерен, обработанных дозами 1-4 Гр, на 0,9-1,2% и на

1,0-1,7% для зерен, обработанных дозами 5-8 Гр и 9-13 Гр соответственно. Всхожесть зерен, обработанных дозами от 14 Гр до 20 Гр, упала на 2,4-3,2%, что может быть связано с ингибирующим влиянием применяемых доз излучения.

Проведение исследований отдельных физико-химических показателей показывает необходимость продолжения исследований в этом направлении. Влажность зерна контрольной группы составила  $9,82 \pm 0,01\%$ , после обработки происходит незначительное ее снижение до  $9,80 \pm 0,01\%$ . Хлебопекарные качества зерна пшеницы связаны с его белковым комплексом, с количеством и качеством клейковины. Так, содержание клейковины в контрольных образцах зерна пшеницы составило  $(20,5 \pm 0,1)\%$  с несущественным снижением количества клейковины в обработанных стимулирующими дозами (9-13 Гр) образцах до  $(20,4 \pm 0,2)\%$ . Опытным путем установлено, что в зернах пшеницы контрольной группы содержание сырого протеина –  $(9,20 \pm 0,03)\%$ , в зернах пшеницы после обработки стимулирующими дозами происходит частичный протеолиз белковых фракций с увеличением водорастворимых белковых фракций и небелковых веществ. При этом не установлено достоверных изменений в течение установленного периода прорастания до 5-и суток. Аминокислоты белков пшеницы относятся к физиологически активным веществам и в процессе проращивания под влиянием различных факторов отмечается увеличение свободных аминокислот. В белках пшеницы яровой к лимитирующим аминокислотам относятся лизин и треонин ( $p \leq 0,05$ ) (табл. 2).

Таблица 1 – Результаты корреляционного анализа

Группы образцов	Полиномиальная модель	R <sup>2</sup>
1-я контрольная	$Y = -3,878 \cdot X^2 + 36,60 \cdot X + 1,62$	0,972
9-я опытная (доза облучения 9 Гр)	$Y = -3,796 \cdot X^2 + 35,56 \cdot X + 17,60$	0,967
10-я опытная (доза облучения 10 Гр)	$Y = -3,630 \cdot X^2 + 33,76 \cdot X + 22,61$	0,967
11-я опытная (доза облучения 11 Гр)	$Y = -3,541 \cdot X^2 + 32,75 \cdot X + 25,41$	0,966
12-я и 13-я опытные (доза облучения 12 Гр и 13 Гр)	$Y = -3,525 \cdot X^2 + 32,32 \cdot X + 27,22$	0,962

Таблица 2 – Аминокислотный скор белков пшеницы, необработанной и обработанной излучением дозами 9-13 Гр в процессе проращивания, %

Аминокислота	Продолжительность проращивания, сут				
	Необработанная пшеница		Обработанная пшеница		
	0	5	0	3	5
Валин	$100,46 \pm 0,02$	$100,50 \pm 0,03$	$100,48 \pm 0,02$	$102,42 \pm 0,02$	$103,78 \pm 0,03$
Изолейцин	$100,28 \pm 0,02$	$100,31 \pm 0,03$	$100,30 \pm 0,02$	$100,40 \pm 0,01$	$100,94 \pm 0,03$
Лейцин	$101,28 \pm 0,03$	$101,32 \pm 0,03$	$101,30 \pm 0,02$	$102,43 \pm 0,01$	$105,34 \pm 0,02$
Лизин	$48,89 \pm 0,01$	$48,98 \pm 0,02$	$48,90 \pm 0,01$	$49,47 \pm 0,02$	$52,93 \pm 0,01$
Метионин+цистин	$104,61 \pm 0,04$	$104,83 \pm 0,04$	$104,62 \pm 0,03$	$105,45 \pm 0,02$	$106,13 \pm 0,03$
Треонин	$69,45 \pm 0,02$	$69,59 \pm 0,01$	$69,47 \pm 0,02$	$71,35 \pm 0,02$	$72,50 \pm 0,01$
Триптофан	$109,66 \pm 0,03$	$109,95 \pm 0,03$	$109,69 \pm 0,03$	$111,00 \pm 0,04$	$114,30 \pm 0,01$
Фенилаланин+тирозин	$100,75 \pm 0,03$	$100,95 \pm 0,03$	$100,78 \pm 0,02$	$101,39 \pm 0,02$	$102,53 \pm 0,03$
Итого	$89,99 \pm 0,03$	$90,05 \pm 0,03$	$90,00 \pm 0,02$	$91,02 \pm 0,02$	$92,84 \pm 0,02$

По результатам исследований установлено, что в пшенице мягкой яровой сорта Л-503 аминокислотный скор белка ниже 100% за счет лимитирующих аминокислот лизина и треонина, в процессе проращивания наблюдается увеличение АКС собственно аминокислот. Наряду с этим, под воздействием радиостимуляции малыми дозами,

наблюдается более интенсивное увеличение аминокислотного сора аминокислот в обработанных излучением образцах на 5-е сутки по сравнению с необработанными образцами на аналогичном периоде проращивания. АКС аминокислот в опытных образцах обработанной излучением пшеницы увеличился в процессе проращивания: валин – на

3,28%, изолейцин – 0,64%, лейцин – на 3,99%, лизин – на 8,25%, комплекс метионина с цистином – на 1,44%, треонин – на 4,66%, триптофан – на 4,21%, комплекс фенилаланина с тирозином – на 1,74%, что показывает повышение биологической ценности белка пшеницы, обработанной оптимальными стимулирующими дозами излучения, на фазе роста.

Согласно требований ТР ТС 015/2011 микробиологические показатели в зерне не регламентируются. В тоже время, применяемые малые дозы излучения, не оказывая сублетального воздействия на микроорганизмы и грибную микробиоту, способствует замедлению распространению поверхностной микрофлоры: содержание КМАФАнМ –  $0,100 \cdot 10^4$  КОЕ/г, содержание грибной микробиоты –  $0,320 \cdot 10^4$  КОЕ/г.

**Обсуждение.** Сравнительный анализ постановки эксперимента с организацией эксперимента другими исследователями показывает, что, несмотря на определенную схожесть исследований (исследована пшеница, проведена обработка излучением, определено содержание отдельных нутриентов), авторами проведены исследования на пшенице определенного сорта, при этом выборка в каждой группе составляла 1000 зерен, применен широкий диапазон доз излучения (от 0 до 20 Гр), всхожесть зерен высчитывалась ежедневно (показан высокий коэффициент корреляции – от 0,962 до 0,972), был изменен временной фактор – организация эксперимента сразу после облучения и через 7 дней после облучения. Для исследования биологической ценности был исследован не только аминокислотный состав, но и рассчитан аминокислотный скор с высокой степенью достоверности ( $p \leq 0,05$ ).

Опытным путем установлено, что в одинаковых условиях проращивания и активизации биохимических реакций в зерне на фоне возникших гидролитических процессов при снижении проницаемости клеточных мембран для воды сначала происходит набухание и последующее уширение зерна, на фазе прорастания начинают проклевываться проростки из-под оболочек с различной степенью активности в разном количестве зерен и ориентировочно на 5-е сутки для облученного зерна или 6-7-е сутки для необлученного зерна увеличивается длина зерна и растет проросток до 1,5-1,9 мм. К оптимальным дозам ионизирующего излучения можно отнести дозы в пределах 9-13 Гр. Фазы контролируемого проращивания сопоставимы с исследованиями [42].

Необходимо проведение дальнейших исследований ферментативной активности протеаз в зерне пшеницы после обработки разными дозами ионизирующего излучения, которые влияют на энергию и способность прорастания зерен пшеницы, и для установления времени контролируемого проращивания, которое позволит достичь одновременно и повышение биологической ценности проросшего зерна в результате активизации ферментного комплекса, и в тоже время не

допустить неконтролируемости этого процесса. При этом, как отмечают [43], молекулярные механизмы радиационного гормезиса, несмотря на продолжительный период его исследования, до сих пор до конца не ясны.

Полученные результаты по всхожести зерен контрольной и опытных групп пшеницы позволяют с помощью корреляционного анализа установить наличие связи между переменными X (период проращивания, сут) и Y (всхожесть семян, %).

Данные экспериментальных исследований после проращивания зерен пшеницы через 7 дней после их обработки ионизирующим излучением сопоставимы с выводами ученых в части ограниченного периода активности деления клеток после облучения до 4-6 суток [29, 32, 37].

Исследование аминокислотного сора по аминокислотам в образцах пшеницы до и после облучения показывает, что содержание незаменимых аминокислот в исследуемых образцах больше, чем в «идеальном» белке по основным аминокислотам, кроме лизина и треонина, в которых установлены более высокие темпы увеличения АКС по сравнению с другими незаменимыми аминокислотами. В облученных образцах пшеницы установлены более высокие количественные значения АКС по всем незаменимым аминокислотам по сравнению с необлученными образцами, что может быть обусловлено воздействием излучения и переходом зерна в фазу биологической активности. При увеличении продолжительности проращивания свыше 5-и суток происходит снижение темпов увеличения АКС, что косвенно подтверждается результатами по всхожести семян.

**Выводы.** Применение пророщенных зерен при производстве пищевой продукции функциональной направленности определяет необходимость применение эффективных технологий проращивания зерен, включая этапы подготовки зерна к проращиванию и самой технологии проращивания. Использование радиостимуляции зерна в результате обработки оптимальными дозами излучения от 9 Гр до 13 Гр зерен пшеницы мягкой яровой сорта Л-503, районированной для Нижне- и Средневолжского, Уральского и Центрально-Черноземного регионов, позволяет обеспечить высокую энергию прорастания через 3-е суток в результате снижения проницаемости мембран для воды, полностью соответствующую способности прорастания через 5 суток, и получать пророщенное зерно пшеницы с крепкими проростками длиной до 1,9 мм. Установлены незначительные изменения влажности, количества клейковины и сырого протеина на коротком временном промежутке проращивания зерен пшеницы. Несмотря на снижение всхожести предварительно обработанного ионизирующим излучением зерна после хранения в течение 7-и суток, полученные результаты выше, чем в необработанном излучением зерне, что является важным в условиях поддержания микробиального равновесного поло-



жения и подтверждает стимулирующий эффект малых доз ионизирующего излучения при проращивании зерен пшеницы.

Увеличение аминокислотного сгора белка и по незаменимым аминокислотам в образцах опытных групп пшеницы, позволяющее покрывать суточные потребности в незаменимых аминокислотах, показывает определенное положительное влияние излучения, запускающего как катализатор биопроцессов в зерне. Результаты проведенных исследований предопределяют возможность практического применения технологии проращивания зерна пшеницы, предварительно обработанного оптимальными стимулирующими дозами ионизирующего излучения в четко фиксированные сроки, что позволяет улучшить всхожесть зерна и достичь более высоких количественных показателей биологической ценности белка пшеницы, обработанной излучением, по сравнению с зернами пшеницы, необработанными излучением. Полученные экспериментальные данные подтверждаются повторяемостью результатов и согласуются в определенной мере с другими исследователями. Рекомендуется дальнейшее проведение комплексных экспериментов, в том числе и для других видов и сортов зерновых, бобовых, крупяных и масличных культур, а также для углубленного исследования состава нутриентов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Акулич А.В., Самуйленко Т.Д., Тимакова Р.Т. Разработка компонентного состава сухих комбинированных смесей для заварных сортов хлеба улучшенной пищевой ценности // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 4. С. 158-171. DOI: 10.36107/spfp.2021.240.
2. Тимакова Р.Т., Макеева Т.И. Особенности технологии выращивания микрозелени пшеницы и расторопши пятнистой // e-FORUM. 2020. № 1 (10), 8. <http://eforum-journal.ru/ru/vypuski-2020?id=236>.
3. Юлчиева С.А., Мамаджанов Л., Атаханов Ш.Н., Мирабдуллаев Н.Х. Пророщенные зерна пшеницы – основа витаминов и питательных веществ // Universum: технические науки. 2021. № 3-2 (84). С. 95-99. DOI: 10.32743/ UniTech. 2021. 84.3-2.95-99.
4. Салманов М.М., Мусаева Н.М., Алигазиева Н.М., Магомедова Н.Б. Напитки с применением пророщенного зерна пшеницы // В сб. Инновационное развитие современной науки. Мат. Междунар. науч.-практ. конф. Под общей редакцией Е.А. Назарова. 2021. С. 15-21.
5. Гинойн Р.В., Назарова Н.Е., Бондарева Ю.Н. Технология производства йогурта функционального назначения, обогащенного смесью сухого порошка пророщенной пшеницы и пюре из черники и голубики // Вестник ВГУИТ. 2018. № 80(4). С. 283-287. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-4-283-287.
6. Finnie S., Brovelli V., Nelson D. Sprouted grains as a food ingredient // SPROUTED GRAINS: NUTRITIONAL VALUE, PRODUCTION, AND APPLICATIONS. 2019. P. 113-142. DOI: 10.1016/B978-0-12-811525-1.00006-3.
7. Арисов А.В., Чугунова О.В., Тиунов В.М. Использование полуфабриката из цельносмолотого пророщенного сырья в производстве сладких блюд // Пищевая промышленность. 2022. № 1. С. 12-15.
8. Сумина А.В., Полонский В. И., Шалдаева Т. М. Функциональная ценность талгана, изготовленного из пророщенного зерна пшеницы и ячменя // Вестник ВГУИТ. 2021. 83 (1). С. 163–168. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-163-168.
9. Хузин Ф.К., Канарская З. А., Ивлева А.Р., Гематдинова В.М. Совершенствование технологии производства хлебоуточного изделия на основе измельченного пророщенного зерна пшеницы // Вестник ВГУИТ. 2017. № 79(1). С. 178-187. DOI: 10.20914/2310-1202-2017-1-178-187.
10. Вебер А.Л., Леонова С.А., Жданцева Н.П., Никифорова Т.А. Разработка мероприятий по обеспечению качества и безопасности производства хлеба из пшеничной муки с использованием дисперсии из пророщенного зерна гороха и фасоли отечественной селекции // Хлебопродукты. 2021. № 1. С. 44-51.
11. Замошникова Р.П., Неверова О.П. Совершенствование технологии производства хлебоуточных изделий из пророщенного зерна пшеницы с добавлением пшеничной закваски // Молодежь и наука. 2021. № 1. С. 27.
12. Niroula A., Khatri S., Khadka D., Timilsina R. Total phenolic contents and antioxidant activity profile of selected cereal sprouts and grasses // International journal of food properties. 2019. Vol. 22, № 1. P. 427-438. DOI: 10/1080/10942912.2019.1588297.
13. Зенькова М.Л., Акулич А.В., Мельникова Л.А., Тимофеева В.Н. Исследование нутриентного состава пророщенного зерна пшеницы, выращенного в Беларуси // Хранение и переработка сельхозсырья. 2000. № 3. С. 58-68.
14. Лукин А.А., Меренкова С.П. Разработка технологии производства хлебоуточного изделия с использованием муки из пророщенного зерна пшеницы // Вестник Юно-Уральского государственного университета. 2016. № 3. С. 5-12.
15. Крючкова Е.Р., Борисенко Е.Г. Микробная биоконверсия пророщенного зерна пшеницы // Наукосфера. 2021. 7-2. С. 270-276.
16. Икрами М.Б., Шарипова М.Б., Каримов О.С., Мирзорахимов К.К. Амилазный комплекс муки из пророщенной пшеницы // Вестник Технологического университета Таджикистана. 2021. № 2 (45). С. 58-63.
17. Jribi S., Molhar H., Antal O.T., Adanyi N., Kheriji O., Naar Z., Debbabi H. Zinc fortification as a tool for improving sprout hygienic and nutritional quality: a factorial design approach // S. Jribi, //Journal of the science of food and agriculture. 2019. Vol. 99, № 11. P. 5187-5194. DOI: 10.1002/jsfa.9765.
18. Pivovarov O., Kovaliova V., Koshulko V. Effect of plasmachemically activated aqueous solution on process of food sprouts production // Ukrainian food journal. 2020. Vol. 9, № 3. P. 575-587. DOI: 10/24263/2304-974X-2020-9-3-7.
19. Benincasa P., D'Amato R., Falcinelli B., Troni E., Fontanella M.C., Frusciante S., Guiducci M., Beone G.M., Businelli D., Diretto G. Grain endogenous selenium and moderate salt stress work as synergistic elicitors in the enrichment of bioactive compounds in maize sprouts // Agronomy-basel. 2020. Vol. 10, № 5. С. 735. DOI: 10.3390/ agronomy10050735.
20. Бурова Н.О. Технология сухого пророщенного зерна вакуумной сушки с использованием крапивы // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2021. № 23. С. 166-169.
21. Антипова Л.В., Дарьин А.О. Белковый продукт функционального назначения из пророщенного зерна чечевицы // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2022. № 1(85). С. 16-20.
22. Вендин С.В., Саенко Ю.В., Широков М.С., Страхов В.Ю. Влияние продолжительности освещения на скорость прорастания и химический состав зерна сои и люпина // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. Т. 68, № 1(42). С. 93-98.
23. Chiu KY. Changes in microstructure, germination, sprout growth, phytochemical and microbial quality of ultrasonication treated adzuki bean seeds // Agronomy-basel. 2021. Vol. 11, № 6:1093. DOI: 10.3390/ agronomy11061093.
24. Пономарёва Е.И., Алёхина Н.Н., Скворцова О.Б. Изменение пищевой ценности зерна гречихи при проращивании с использованием обработанной ультразвуком воды // Известия ВУЗ. Пищевая технология. 2020. № 1 (373). С. 30-33.
25. Тимакова Р.Т. Научно-практические аспекты идентификации и обеспечения сохранности пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.18.15. Екатеринбург, 2020. 36 с.
26. Веселова Т.В. Изменение состояния семян при их хранении, проращивании и под действием внешних факторов (ионизирующего излучения в малых дозах и других слабых воздействий), определяемое методом замедленной



люминесценции: автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 2008. 48 с.

27. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности Под общ. ред. Г.В. Козьмина, С.А. Гераськина и Н.И. Санжаровой Обнинск: ВНИИРАЭ, 2015. – 400 с.

28. Битаршвили С.В., Бондаренко В.С. Анализ транскрипционной активности генов метаболизма гиббереллинов после  $\gamma$ -облучения семян ячменя // В сб.: Радиационные технологии в сельск. хоз. и пищ. пром.: состояние и перспективы: сб. докл. междунар. научно-практ. конф. (26-28 сентября 2018г.). Обнинск: ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии, 2018. С. 46-48.

29. Кузин А.М. Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы. М.: Атомиздат, 1977. 136 с.

30. Кузин А.М., Каушанский Д.А. Прикладная радиобиология. М.: Энергоиздат, 1981. 221 с.

31. Penfield S., King J. Towards a systems biology approach to understanding seed dormancy and germination // Proc. R. Soc. B. 2009. Vol. 276. P. 3561-3569.

32. Пономаренко П.А., Безотосный С.С., Фролова М.А. Стимуляционный эффект при спецобработке семян сельскохозяйственных культур гамма-лучами // В сб.: Радиационные технологии в сельск. хоз. и пищ. пром.: состояние и перспективы: сб. докл. междунар. научно-практ. конф. (26-28 сентября 2018г.). Обнинск: ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии, 2018. С. 112-113.

33. Лутова Л.А., Ежова Т.А., Додуева И.Е., Осипова М.А. Генетика развития растений. СПб.: Наука, 2010. 539 с.

34. Волкова П.Ю., Чурюкин Р.С., Гераськин С.А. Влияние  $\gamma$ -облучения семян на активность ферментов в проростках ячменя // Радиационная биология. Радиоэкология. 2016. Т. 56, №2. С. 190-196.

35. Чурюкин Р.С. Закономерности формирования биологических эффектов при  $\gamma$ -облучении семян ячменя: дис. ... канд. биол. наук. Обнинск: ВНИИРАЭ, 2017. 137 с.

36. Соснина И.В., Волкова П.Ю. Оценка морфологических параметров проростков ячменя после  $\gamma$ -облучения семян в малых дозах // В сб.: Радиационные технологии в сельск. хоз. и пищ. пром.: состояние и перспективы: сб. докл. междунар. научно-практ. конф. (26-28 сентября 2018г.). Обнинск: ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии, 2018. С. 118-120.

37. Гудков И.Н. Основы общей и сельскохозяйственной радиобиологии. Киев: Изд-во УСХА, 1991. – 328 с.

38. Корнеев Н.А., Поваляев А.П., Алексахин Р.М., Анненков Б.Н., Батыгин Н.Ф., Андреев С.В. Некоторые итоги и задачи использования радиоизотопов и ионизирующих излучений в сельском хозяйстве // Изотопы в СССР. 1980. С. 149-155.

39. Aladjadjiyan A. The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria // Journal of Central European Agriculture. 2007. Vol. 8, № 3. P. 369-380.

40. Melki M., Marouani A. Effects of gamma rays irradiation on seed germination and growth of hard wheat // Environ. Chem. Lett. 2010. Vol. 8. P.307-310.

41. Timakova R., Efremova S., Zuparova V. Ways to improve the technological properties of commercial grain and ensure its preservation // AIP Conference Proceedings: International conference on food science and biotechnology. (FSAB 2021). 2021. Vol. 2419(1):020017. DOI:10.1063/5.0069615.

42. Науменко Н.В., Потороко И.Ю., Науменко Е.Е. Применение шкалы микрофенологических фаз для процесса контролируемого прорастивания пшеницы // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2021. Т. 9, № 2. С. 47-56.

43. Бондаренко В.С., Татарова М.Ю. Полиморфизм IRAP-маркеров в зародышах семян ячменя при радиационном воздействии // В сб.: Радиационные технологии в сельск. хоз. и пищ. пром.: состояние и перспективы: сб. докл. междунар. научно-практ. конф. (26-28 сентября 2018г.). Обнинск: ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии, 2018. С. 54-58.

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022*

*Статья принята к публикации 16.09.2022*