

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 53.06:633.11:664.6+664.641.12

DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-81-86

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ХЛЕБОПЕЧЕНИИ
МУКИ ИЗ ПРОРОЩЕННОГО ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ИЗЛУЧЕНИЕМ
ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ**

Р. Т. Тимакова, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры биотехнологии и инжиниринга, trt64@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4777-1465;

Т. И. Гулова, старший преподаватель кафедры биотехнологии и инжиниринга, gulovat@mail.ru, ORCID ID: 0009-0009-1706-1153

ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»,
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной воли, д. 62/45; e-mail: trt64@mail.ru

В исследовательской литературе изучается влияние разных видов излучения на жизнеспособность и безопасность зерновых культур. При этом выявлен выборочный подход к проблематике использования излучения и других абиотических факторов исходя из поставленных целей для использования в растениеводстве или в пищевой промышленности, что определило комплексность представленной работы в оценке влияния низких доз γ -излучения на технологические свойства зерна, муки и хлеба с учетом многофакторности: разные дозы γ -излучения, контролируемое проращивание, цельный помол зерна. Первичный объект исследования – зерна мягкой яровой пшеницы Ирень. Зерна пшеницы облучали в ООО «РЦОТ «Эра» на установке РТУ-3000. Проращивание осуществляли в контролируемых условиях. Оценено влияние увеличения дозы излучения до 20 Гр на усиление кинетики прорастания зерен и на увеличение стекловидности зерна. Выяснено, что биоактивированное излучением пророщенное зерно пшеницы, отличаемое повышенной питательной ценностью, возможно использовать как сырье для производства муки и в хлебопечении. Полученная мука отличается низкой влажностью – 9,1–9,2 %, что способствует ее лучшей хранимостепособности. Охарактеризованы закономерности формирования равномерной пористости, плотного и эластичного мякиша хлеба в образцах цельносмолотого пшеничного хлеба из зерна, обработанного низкими дозами излучения за счет большего количества клейковины (36,0–36,3 %) и ее хорошего качества, упруго-пластических свойств теста. Обнаружено, что в образцах хлеба из пророщенного зерна за счет высокого качества клейковины (75–80 ед. ИДК) при более низких показателях пористости по сравнению с хлебом из непорощенного зерна органолептические показатели хлеба полностью соответствуют установленным требованиям для обойного пшеничного хлеба. Результаты данного этапа исследования показывали целесообразность применения низких доз излучения, проращивания и использования цельносмолотой муки для формирования потребительской ценности пшеничного хлеба.

Ключевые слова. зерно пшеницы, Ирень, γ -излучение, пророщенное зерно, мука, хлеб.

Для цитирования: Тимакова Р. Т., Гулова Т. И. Исследование возможности применения в хлебопечении муки из пророщенного после обработки излучением зерна пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 81–86. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-81-86.

**STUDY OF THE POSSIBLE USE OF FLOUR OBTAINED
FROM WHEAT GRAIN SPROUTED AFTER RADIATION TREATMENT
IN BREAD BAKING**

R. T. Timakova, Doctor of Technical Sciences, docent, Professor of the Department of Biotechnology and Engineering, trt64@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4777-1465;

T. I. Gulova, Senior Lecturer at the Department of Biotechnology and Engineering, gulovat@mail.ru, ORCID ID: 0009-0009-1706-1153

FSBEI HE "Ural State University of Economics",
620144, Ekaterinburg, 8-th of March/Narodnaya Volya Str., 62/45; e-mail: trt64@mail.ru

The research literature studies the effect of different types of radiation on the viability and safety of grain crops. At the same time, there has been found a selective approach to the problem of using radiation and other abiotic factors, based on the goals in plant growing or in the food industry, which determined the complexity of the current work in estimating the effect of low doses of γ -radiation on the technological properties of grain, flour and bread, taking into account different doses of γ -radiation, controlled germination, whole grain milling. The primary object of the study was the grain of spring common wheat variety 'Iren'. The wheat grains were irradiated at the "Era" RCOHS using the RTU-3000 unit. Germination was carried out under controlled conditions. There has been estimated the effect of increasing the radiation dose to 20 Gy on enhancing the kinetics of grain germination and increasing the hardness of the grain. There has been found that sprouted wheat grain bioactivated by radiation, which has improved nutritional value, can be used as a raw material for flour production and in bread baking. The obtained flour is of low moisture 9.1–9.2 %, which provides its better storage. There have been characterized regularities of uniform porosity, dense and elastic crumb of bread in whole-ground wheat bread samples baked from grain treated with low doses of radiation due to the greater amount of gluten (36.0–36.3 %) and its good quality, elastic properties of the dough. There has been found that in bread samples made from sprouted grain, due to the high quality of gluten (75–80 units of IDK) with lower porosity values compared to bread made from non-sprouted grain, the organoleptic properties of the bread

fully comply with the established requirements for whole wheat bread. The results of the current study have shown the feasibility of using low doses of radiation, germination, and the use of whole-ground flour to form the consumer value of wheat bread.

Keywords: wheat grain, Iren, γ -radiation, sprouted grain, flour, bread.

Введение. Качество хлеба определяется видом и сортом зерновых культур и используемыми технологическими способами и приемами. Производство муки из цельносмолотого зерна обеспечивает наличие в муке отрубей как ценного источника целлюлозы (клетчатки) и некрахмальных полисахаридов (пищевых волокон) и синтеза группы витаминов: Е и группы В (B_1 , B_2 , B_3 , B_6).

Радиационные технологии показывают высокую эффективность в уничтожении вредителей хлебных злаков на разных стадиях их онтогенеза (яйца, личинки, куколки) – до 100 % гибели в зависимости от дозы излучения (Санжарова и Лой, 2022). В процессе хранения зерна при нарушении условий хранения возможно распространение плесневелых грибов. Обработка γ -излучением хранившегося в течение 4-х лет зерна пшеницы при дозах 372–726 Гр подавила развитие грибов хранения *Aspergillus* sp. и *Penicillium* sp., соответствующие результаты были получены при обработке потоком ускоренных электронов с энергией электронов 10 МэВ (98–99 %) (Яицких и Степаненко, 2022). Наряду с этим γ -излучение применяется в селекции новых сортов для повышения их урожайности (Hussein et al., 2021). Были проведены комплексные исследования по влиянию разных доз γ -излучения на семена различных сортов зерновых культур (Казакова и др., 2020). Выявлено положительное воздействие низких доз γ -излучения (50 Гр, 100 Гр) на пищевую ценность проростков пшеницы в результате увеличения общего содержания белка и нуклеиновых кислот (Минасбекян и Авагян, 2023).

Обнаружили влияние малых и низких доз излучения на стимуляционный рост зерновых культур и повышение их урожайности (Shabaniet al., 2022). При этом выход из метаболического покоя зерна в результате биоактивации (запуска) ферментативных процессов и под воздействием фитогормонов происходит на этапе микрофенологической фазы (МФФ) контролируемого прорастивания – проклевки и формирования проростков и приводит к аддитивным изменениям в результате распада макромолекул (Тимакова и Ильяхин, 2023). Отмечено увеличение способности к прорастанию зерна и изменение нутриентного состава с увеличением содержания белков и жиров и уменьшения крахмала за счет расщепления до мальтозы и глюкозы и повышение биологической ценности зерна. Для обеспечения качества готового продукта (хлеба) важное значение имеет доза облучения используемой в хлебопечении муки.

Были установлены оптимальные дозы γ -излучения для цельнозерновой пшеничной муки – 0,2 кГр, 0,5 кГр и 2 кГр, обеспечивающие сохранность муки до 6 мес., и соответствие ор-

ганолептических показателей кексов из такой муки. Увеличение дозы до 5 кГр ухудшает качество кексов (Ansari et al., 2020). Сопоставимые результаты получены при исследовании влияния доз, равных 0,25 кГр, 0,5 кГр и 1 кГр, которые находятся на уровне значимости ($p \leq 0,05$). При этом минимальные поверхностные трещины на гранулах пшеничной муки, подвергнутых облучению в меньшей дозе, указали на то, что эта доза облучения может быть рекомендована для улучшения качества хлебобулочных изделий (Manupriya et al., 2020). Для обеспечения микробиологической безопасности для муки применяли высокие дозы излучения – от 11,88 кГр и с двух- и четырехкратным увеличением дозы. При этом ухудшались технологические свойства теста и хлеба (Романов и др., 2022).

Обзор исследовательских работ современных ученых в области использования облучательных технологий выявил необходимость проведения комплексных исследований с использованием зерна определенного сорта пшеницы и симбиотического воздействия низких доз излучения и последующего прорастивания, обеспечивающих стимуляционное воздействие на скрытые резервы самого зерна как отдельной системы и повышение его пищевой ценности. Цель эксперимента – провести оценку качества хлеба из цельносмолотых пророщенных после обработки низкими дозами γ -излучения (10 Гр, 20 Гр) зерен мягкой яровой пшеницы Ирень.

Материалы и методы исследования. Для исследования взяли распространенный в восьми регионах России, в том числе в Уральском регионе, раннеспелый сорт мягкой яровой пшеницы Ирень (код сорта – идентификатор * 8355314, оригинатор – ООО НПК «АгроАльянс») *Triticum aestivum* L. Выбор сорта Ирень определен его распространенностью и районированностью на Урале. Зерна удлиненной формы со средним хохолком, со средним вегетационным периодом 86–88 дней, масса 1000 семян – $38,4 \pm 1,3$ г. Для активации зерна урожая 2021 г. провели обработку низкими дозами γ -излучения (10 Гр и 20 Гр) в ООО «РЦОТ «Эра» на установке РТУ-3000. Задача состояла в проведении исследований в процессе хранения зерна, период исследований – 2022–2024 годы. Прорастивание осуществляли при температуре воздуха 20 °С, смешанное освещение. Расчет энергии прорастания осуществляли по ГОСТ 10968-88, к пророщенному зерну относится зерно с корешками или ростками длиной 1–2 мм (Тимакова и Ильяхин, 2023). Зерно измельчали до размера частиц 300–400 мкм. По данным гравиметрического анализа, 96 % частиц муки размером 300–400 мкм.

Объекты исследования – зерно, цельно-смолотая мука, хлеб. Сформировали группы: контрольная (образцы зерна, не обработанные γ -излучением и не пророщенные) и опытные группы: 1-я группа – образцы из пророщенного зерна, 2-я и 4-я – образцы из зерна, обработанного дозами 10 Гр и 20 Гр, 3-я и 5-я – образцы из пророщенного зерна, ранее обработанного дозами 10 Гр и 20 Гр. Выбор доз излучения определен ранее проводимыми исследованиями (Тимакова и Ильяхин, 2023) и очередным этапом в цикле научных исследований.

Рецептура хлеба на жидкой опаре включила муку цельносмолотую – 200 г, дрожжи хлебопекарные прессованные – 3 г, соль поваренную – 2,6 г. При замесе теста для получения однородной консистенции количество добавленной воды незначительного отличалось: в контрольной группе – 142 мл, в опытных группах: 1-я – 138 мл, 2-я и 4-я – 140 мл, 3-я и 5-я – 139 мл.

Опарный способ выпечки хлеба и стадия обминки влияют на мягкость и однородность мякиша. Лабораторную выпечку хлеба проводили согласно ГОСТ 27669-88. Исследования проводили по стандартизированным методикам в пятикратной повторности. Результаты обработаны методом вариационной статистики.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе исследований была проведена оценка эффективности радиостимуляции низкими дозами γ -излучения зерен мягкой яровой пшеницы. Первые зерна проклюнулись через 16–18 ч с прорыванием оболочки семени корешками и последующим появлением coleptilia. Энергия прорастания для образцов 1-й группы составила 81 %, для образцов 3-й и 5-й групп, обработанных дозами излучения 10 Гр и 20 Гр, – 96 и 93 % соответственно.

На втором этапе исследовали образцы зерен пшеницы, муки и хлеба (см. таблицу).

**Технологические свойства и показатели качества объектов исследования
из мягкой яровой пшеницы Ирень (2022–2024 гг.)
Technological properties and quality indicators of the study objects
from spring common wheat 'Iren' (2022–2024)**

Показатель (метод определения)	Нормируемое значение	Контрольная группа	Группы опытных образцов				
			1-я	2-я	3-я	4-я	5-я
Зерно пшеницы (ГОСТ 9353-2016)							
Число падения, с (ГОСТ 27676-88)	не менее 150	246±1*	239±1*	236±1*	230±1*	231±1*	225±1*
Натура, г/л (ГОСТ 10840-2017)	не менее 730	796±1*	790±1*	796±1*	790±2*	796±1*	790±2*
Стекловидность, % (ГОСТ 10987-76)	не менее 40	60,6±0,3*	53,2±0,5*	60,7±0,2*	53,6±0,3*	60,8±0,2*	53,8±0,2*
Количество клейковины, % (ГОСТ 27839-2013)	не менее 23	35,7±0,2*	35,1±0,8*	36,0±0,2*	35,3±0,1*	36,3±0,3*	35,6±0,1*
Качество клейковины, ед. ИДК	не ниже 18-102	78±1*	80±2*	73±1*	75±1*	74±1*	75±1*
Цельносмолотая пшеничная мука (ГОСТ 26574-2017 – по обойной муке)							
Влажность, % (ГОСТ 9404-88)	не регламентировано (1 сорт не более 15)	9,4±0,2**	10,8±0,3**	9,2±0,2**	10,0±0,3**	9,1±0,2**	10,0±0,1**
Кислотность, град (ГОСТ 27493-87)	не регламентировано (на практике не более 5)	2,2±0,1*	4,0±0,2*	2,6±0,1*	4,0±0,1*	2,60±0,1*	4,0±0,1*
Зольность, % (ГОСТ 27494-2016)	не более 2,0	1,28±0,02**	1,29±0,02**	1,36±0,01**	1,37±0,02**	1,36±0,02**	1,37±0,02**
Хлеб из цельносмолотой пшеничной муки (ГОСТ Р 58233-2018 – по хлебу пшеничному из обойной муки)							
Влажность, %	не более 49,0	45,3±0,3*	44,6±0,2*	45,2±0,1*	44,3±0,1*	45,1±0,1*	44,2±0,1*
Кислотность, град	не более 7,0	3,0±0,1*	4,4±0,1*	2,8±0,1*	3,2±0,1*	2,8±0,1*	3,2±0,1*
Пористость, % (ГОСТ 5669-96)	не менее 54,0	59,6±0,3*	54,3±0,3*	57,8±0,2*	56,5±0,2*	56,7±0,2*	55,1±0,2*

Примечание. Контрольная группа: непророщенные необработанные γ -излучением зерна, опытные группы: 1-я группа – образцы из пророщенного зерна, 2-я и 4-я группы – образцы из зерна, обработанного дозами 10 Гр и 20 Гр γ -излучения, 3-я и 5-я группы – образцы из пророщенного зерна, ранее обработанного дозами 10 Гр и 20 Гр γ -излучения.

** – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; $\pm$ – диапазон возможных значений.*

Оценка технологических свойств зерен пшеницы, относящейся по количеству клейковины к 1-му классу ценной мягкой пшеницы, показала, что все значения соответствовали требованиям ГОСТ 9353-2016. В результате проращивания и воздействия низкими дозами

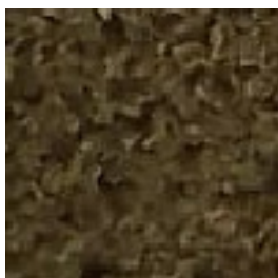
излучения произошли изменения углеводно-амилазного комплекса зерна, что отразилось на числе падения при снижении показателя в пророщенных образцах зерна до 2,5–3,0 % и после обработки дозами ионизирующего излучения 10 Гр и 20 Гр – на 5,0–6,1 %. Не установ-

лено значимого влияния излучения на изменение природы. При проращивании эндосперм зерна, насыщаясь водой, становятся мягкими и темнеют, что привело к уменьшению стекловидности в пророщенных зернах на 7,0–7,6 %, стекловидность в облученных непророщенных зернах незначительно увеличилась – на 0,1–0,2 %.

Хлебопекарные свойства муки пшеницы связаны с содержанием белка, количеством и качеством клейковины в зерне. Сырая клейковина пшеницы сорта Ирень отличается хорошими упругими свойствами. В образцах зерна, обработанных γ -излучением дозами 10 Гр и 20 Гр, увеличилось количества клейковины на 0,3–0,6 %. В пророщенных образцах зерна пшеницы произошло снижение содержания сырой клейковины по сравнению с соответствующими контрольными образцами: на 0,6 % в необлученных образцах и на 0,7 % в ранее облученных образцах в результате расщепления полипептидов до пептидов и свободных аминокислот. Исследование качества клейковины на приборе ИДК-ЗМ показало, что в опытных образцах, обработанных γ -излучением, плотная упругая клейковина 1 класса с 73–75 ед. ИДК в результате более интенсивного гидролиза жира и клейстеризации крахмала. При незначительном снижении качества клейковины в муке из пророщенных зерен получили клейковину хорошего качества. Требования по количеству и качеству клейковины были исследованы по ГОСТ 9353-2016 для зерна, где они выше, чем в ГОСТ 26574-2017 для муки.

По органолептическим показателям мука соответствовала регламентируемым требованиям. Установили, что влажность цельносмолотой муки имела более низкие значения в образцах муки из непророщенных и обработанных зерен дозами γ -излучения 10 Гр и 20 Гр – 9,2 и 9,1 % соответственно. Влажность муки из пророщенных зерен выше на 0,8–1,4 % по сравнению с мукой из непророщенных зерен. С высокой степенью достоверности установили более высокую зольность в муке из пророщенных зерен и обработанных излучением. Кислотность муки из непророщенного зерна соответствовала требованиям для муки высшего сорта 2,2–2,6 град, муки из пророщенного зерна – для обойной муки со значением 4,0 град.

Органолептические показатели контрольных и опытных образцов хлеба из цельносмолотой пшеничной муки соответствовали требованиям ГОСТ Р 58233-2018. Получили хлеб с немного шероховатой поверхностью и эластичным плотным мякишем. В образцах хлеба с использованием в качестве основного сырья цельносмолотой пшеничной муки из пророщенных зерен цвет хлеба более темный (рисунк), что могло быть обусловлено более интенсивным протеканием реакции Майяра с потемнением корочки и мякиша и появлением специфического густого хлебного аромата и активацией α -амилазы с расщеплением крахмала эндосперма зерна.



Контрольный образец



Опытный образец
(мука из зерен,
обработанных γ -излучением)



Опытный образец
(мука из пророщенных зерен
после γ -облучения)

Внешний вид мякиша образцов цельносмолотого пшеничного хлеба
Appearance of crumb of whole-ground wheat bread samples

При этом сформировался равномерно пористый мякиш в результате действия дрожжей на стадиях брожения и расстойки теста.

За счет увеличения количества сырой клейковины в муке из зерен, обработанных низкими дозами γ -излучения (10 Гр и 20 Гр), и появления жировой пленки из липидов произошло улучшение в тесте клейковинного каркаса. Упруго-пластические свойства теста с равномерным распределением и небольшими размерами пузырьков газа во всех образцах позволили получить хлеб, отвечающий требованиям ГОСТ Р 58233-2018. В образцах хлеба из про-

рощенного зерна без обработки γ -излучением были установлены более низкие показатели влажности и пористости, в образцах хлеба из зерна, обработанного γ -излучением, – влажности до 44,3–44,6 %, в образцах хлеба из непророщенного зерна – кислотности до 2,8 град.

Выводы. Была установлена возможность использования в хлебопечении цельносмолотой муки из пророщенного зерна мягкой яровой пшеницы Ирень, предварительно обработанного низким дозами γ -излучения, что является перспективным направлением для использования на предприятиях АПК тех-

нологий холодной стерилизации и контролируемого проращивания и для повышения качества и потребительских свойств пшеничного хлеба. В результате обработки низкими дозами γ -излучения зерен мягкой яровой пшеницы Ирень была установлена более высокая энергия прорастания, что позволило уменьшить время проращивания зерен до 10–12 ч. Снизилась влажность муки из обработанного γ -излучением зерна на 0,2–0,8 %, что способствует лучшей хранимостности муки. За счет большего количества клейковины хорошего качества сформирована равномерная пористость и эластичность мякиша более интенсивного цвета. Увеличение дозы излучения с 10 до 20 Гр повлияло на кинетику прорастания зерна, количество и качество клейковины – на 0,3 % и 1 ед. ИДК соответственно по сравнению с образцами, обработанными дозой 10 Гр. Аналогично установлено снижение влажности

муки и мякиша на 0,1 % при обработке зерна дозой 20 Гр, при этом пористость уменьшилась на 1,1 %. Хлеб из пророщенного зерна отличается повышенной кислотностью и более плотным мякишем. Образцы зерна, муки и хлеба соответствовали требованиям стандартов. Полученные результаты показали более лучшие показатели при обработке зерна дозой 20 Гр, что определяет необходимость продолжения экспериментальных исследований по изучению влияния разных доз γ -излучения на химический состав и пищевую ценность мягкой яровой пшеницы Ирень, цельносомлотой муки и хлеба. Для оценки целесообразности применения определенных низких доз γ -излучения для обработки зерновых культур выявлена необходимость расширения объектов исследования, в том числе по годам сбора урожая зерна, исходя из конкретных целей на каждом этапе эксперимента.

Библиографический список

1. Казакова Е. А., Макаренко Е. С., Подлущий М. С., Донцова А. А., Битаршвили С. В., Лыченкова М. А., Горбатова И. В., Филиппов Е. Г., Донцов Д. П., Чиж Т. В., Снегирев А. С., Волкова П. Ю. Радиочувствительность сортов озимого и ярового ячменя по выраженности морфологического эффекта низкодозового гамма-облучения оригинальных семян // Зерновое хозяйство России. 2020. № 2(68). С. 23–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-23-28
2. Минасбекян Л. А., Авагян И. А. Влияние ионизирующего излучения на радиочувствительность клеточных ядер проростков семян пшеницы // Биофизика. 2023. Т. 68, № 3. С. 554–563. DOI: 10.31857/S0006302923030171
3. Романов А. С., Марков А. С., Сергеева И. Ю., Козубаева Л. А., Протопопов Д. Н. Влияние ионизирующего облучения на пшеничную хлебопекарную муку // Техника и технология пищевых производств. 2022. № 4(52). С. 729–738. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-4-2401
4. Санжарова Н. И., Лой Н. Н. Эффективность и перспективы применения ионизирующего излучения для фитосанитарной обработки зерна и зернопродуктов // Пищевая промышленность. 2022. № 5. С. 10–13. DOI: 10.52653/PPI.2022.5.5.002
5. Тимакова Р. Т., Ильяхин Р. В. Влияние малых доз γ -излучения в условиях контролируемого микрофенологического онтогенеза ярового ячменя // Индустрия питания. 2023. № 1(8). С. 14–25. DOI: 10.29141/2500-1922-2023-8-1-2
6. Яицких А. В., Степаненко Д. С. Воздействие гамма-лучей и ускоренных электронов на поверхностную микробиоту зерна пшеницы // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2022. № 5(389). С. 46–49. DOI: 10.26297/0579-3009.2022.5.10
7. Ansari F., Homayouni A., Mohsennezhad P., Alivand A. M., Pourjafar H. Extending the shelf-life of whole-wheat flour by gamma irradiation and organoleptic characteristics of cakes made with irradiated flour // Current Nutrition and Food Science. 2020. Vol. 16(5), P. 757–762. DOI: 10.2174/1573401315666190115161626
8. Hussein M., Gul M., Kamal R., Iqbal M.A., Zulfikar S., Abbas A., Röder M. S., Muqaddasi Q.H., Rahman M. Prospects of developing novel genetic resources by chemical and physical mutagenesis to enlarge the genetic window in bread wheat varieties // Agriculture. 2021. Vol. 11, Article number: 621. DOI: 10.3390/agriculture11070621
9. Manupriya B. R., Somashekarappa H. M., Patil S. L., Shenoy K. B. Study of gamma irradiation effects on the physico-chemical properties of wheat flour (*Triticum aestivum* L.) // Radiation Physics and Chemistry. 2020. Vol. 172, Article number: 108693. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2020.108693
10. Shabani M., Alemzadeh A., Nakhoda B., Razi H., Houshmandpanah Z., Hildebrand D. Optimized gamma radiation produces physiological and morphological changes that improve seed yield in wheat // Physiology and Molecular Biology of Plants. 2022. Vol. 28(8), P. 1571–1586. DOI: 10.1007/s12298-022-01225-0

References

1. Kazakova E. A., Makarenko E. S., Podlutskiy M. S., Dontsova A. A., Bitarishvili S. V., Lychenkova M. A., Gorbatoval I. V., Filippov E. G., Dontsov D. P., Chizh T. V., Snegirev A. S., Volkova P. Yu. Radiochuvstvitel'nost' sortovozimogo i yarovogo yachmenya po vyrazhennosti morfologicheskogo effekta nizkodozovogo gamma-oblucheniya original'nykh semyan [Radiosensitivity of winter and spring barley varieties according to the morphological effect of low-dose gamma irradiation of original seeds] // ZernovoekhozyaistvoRossii. 2020. № 2(68). S. 23–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-23-28
2. Minasbekyan L. A., Avagyan I. A. Vliyanie ioniziruyushchego izlucheniya na radiochuvstvitel'nost' kletochnykh yader prorostkov semyan pshenitsy [Effect of ionizing radiation on the radiosensitivity of cell nuclei of wheat seed sprouts] // Biofizika. 2023. T. 68, № 3. S. 554–563. DOI: 10.31857/S0006302923030171

3. Romanov A. S., Markov A. S., Sergeeva I. Yu., Kozubaeva L. A., Protopopov D. N. Vliyanie ioniziruyushchego oblucheniya na pshenichnuyu khlebopekarnuyu muku [Effect of ionizing radiation on wheat bakery flour] // *Tekhnika i tekhnologiyapishchevykhproizvodstv*. 2022. № 4(52). S. 729–738. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-4-2401
4. Sanzharova N. I., Loi N. N. Effektivnost' i perspektivy primeneniya ioniziruyushchego izlucheniya dlya fitosanitarnoi obrabotki zerna i zernoproduktov [Efficiency and prospects for the use of ionizing radiation for phytosanitary treatment of grain and grain products] // *Pishchevayapromyshlennost'*. 2022. № 5. S. 10–13. DOI: 10.52653/PPI.2022.5.5.002
5. Timakova R. T., Il'yukhin R. V. Vliyanie malykh doz γ -izlucheniya v usloviyakh kontroliruemogo mikrofenologicheskogo ontogeneza yarovogo yachmenya [Effect of low doses of γ -radiation under conditions of controlled microphenological ontogenesis of spring barley] // *Industriyapitaniya*. 2023. № 1(8). S. 14–25. DOI:10.29141/2500-1922-2023-8-1-2
6. Yaitskikh A. V., Stepanenko D. S. Vozdeistvie gamma-luchei i uskorenykh elektronov na poverkhnostnuyu mikrobiotu zerna pshenitsy [Effect of gamma rays and accelerated electrons on the surface microbiota of wheat grain] // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya*. 2022. № 5(389). S. 46–49. DOI: 10.26297/0579-3009.2022.5.10
7. Ansari F., Homayouni A., Mohsennezhad P., Alivand A. M., Pourjafar H. Extending the shelf-life of whole-wheat flour by gamma irradiation and organoleptic characteristics of cakes made with irradiated flour // *Current Nutrition and Food Science*. 2020. Vol. 16(5), P. 757–762. DOI: 10.2174/1573401315666190115161626
8. Hussein M., Gul M., Kamal R., Iqbal M.A., Zulfikar S., Abbas A., Röder M. S., Muqaddasi Q.H., Rahman M. Prospects of developing novel genetic resources by chemical and physical mutagenesis to enlarge the genetic window in bread wheat varieties // *Agriculture*. 2021. Vol. 11, Article number: 621. DOI: 10.3390/agriculture11070621
9. Manupriya B. R., Somashekarappa H. M., Patil S. L., Shenoy K. B. Study of gamma irradiation effects on the physico-chemical properties of wheat flour (*Triticumaestivum* L.) // *Radiation Physics and Chemistry*. 2020. Vol. 172, Article number: 108693. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2020.108693
10. Shabani M., Alemzadeh A., Nakhoda B., Razi H., Houshmandpanah Z., Hildebrand D. Optimized gamma radiation produces physiological and morphological changes that improve seed yield in wheat // *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2022. Vol. 28(8), P. 1571–1586. DOI: 10/1007/s12298-022-01225-0

Поступила: 27.08.24; доработана после рецензирования: 02.12.24; принята к публикации: 02.12.24.

Критерии авторства. Авторы имеют равные права на статью и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Тимакова Р. Т. – концептуализация исследования, облучение зерна, выполнение лабораторных исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Гулова Т. И. – выполнение лабораторных исследований, интерпретация данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.