

Радиационная стерилизация сельскохозяйственной продукции от биологических факторов микробной и грибковой природы*

Я. М. КУРБАНГАЛЕЕВ, Т. Р. ГАЙНУТДИНОВ, К. Н. ВАГИН, Ф. Р. ВАФИН, Э. И. СЕМЕНОВ, Л. Е. МАТРОСОВА, О. К. ЕРМОЛАЕВА, Л. Р. ВАЛИУЛЛИН

Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Научный городок, 2, Казань, 420008, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью определения оптимальных доз гамма-излучения, необходимых для стерилизации сельскохозяйственной продукции от биологических факторов микробной и грибковой природы. Для достижения поставленной цели на гамма-установке «Исследователь» для стерилизации мясного фарша от микробов испытывали дозы 5,0; 7,5; 15,0; 22,5; 30,0; 45,0; 60,0; 75,0; 90,0 кГр, для стерилизации зерна от токсических грибов – 7,5; 15,0; 20,0; 22,5; 25,0; 30,0; 35,0; 40,0; 45,0; 60,0 кГр. Мощность дозы, поглощенной продукцией, во всех вариантах составляла 0,594 Гр/с. При облучении мясного фарша, зараженного *E. coli* штамма КВ-1 и штамма ПЛ-6, полное отсутствие роста микроба отмечали при дозе гамма-облучения 20 кГр, спорами *Cl. perfringens* штамма № 28 (тип А) – дозе 25 кГр, односуточной культурой (вегетативная форма) *Cl. perfringens* штамма № 28 (тип А) – 15 кГр. Полная стерилизация зерна, зараженного токсигенными грибами *Aspergillus flavus*, наступала при дозе 45,0 кГр, *Aspergillus* – 35,0 кГр, *Fusarium sporotrichiella* – 22,5 кГр, *Helminthosporium* – 20,0 кГр, *Alternaria alternata* – 15,0 кГр. Мясо, облученное в дозе 25 кГр, по органолептическим, физико-химическим, бактериологическим показателям, а также по биологической полноценности (по результатам ежедневного скармливания крысам) соответствовало требованиям государственных стандартов Российской Федерации, правил ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и мясных продуктов к доброкачественному продукту. Изучение общей токсичности и биологической полноценности зерна (по результатам ежедневного скармливания крысам) свидетельствовало о нетоксичности и биологической полноценности зерна, облученного в дозах 25, 35 кГр и токсичности облученного дозе в 45 кГр.

Ключевые слова: микробы, микроскопические грибы, радиационная стерилизация, гамма-излучение, доза облучения, мощность дозы, сельскохозяйственная продукция, сохранность, качество, безопасность.

Сведения об авторах: Я. М. Курбангалеев, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник (yag72@yandex.ru); Т. Р. Гайнутдинов, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник; К. Н. Вагин, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник; Ф. Р. Вафин, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; Э. И. Семенов, доктор ветеринарных наук, главный научный сотрудник; Л. Е. Матросова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник; О. К. Ермолаева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник; Л. Р. Валиуллин, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник.

Для цитирования: Радиационная стерилизация сельскохозяйственной продукции от биологических факторов микробной и грибковой природы / Я. М. Курбангалеев, Т. Р. Гайнутдинов, К. Н. Вагин и др. // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 38. № 2. С. 58–66. doi: 10.53859/02352451_2024_38_2_58

*работа выполнена за счёт средств гранта Российского научного фонда, проект 23-26-00161.

Radicidation of agricultural products from biological factors of microbial and fungal nature

Y. M. Kurbangaleev, T. R. Gaynutdinov, K. N. Vagin, F. R. Vafin, Eh. I. Semenov, L. E. Matrosova, O. K. Ermolaeva, L. R. Valiullin

Federal Center of Toxicological, Radiation and Biological Safety, Nauchnyi gorodok, 3, Kazan, 420008, Russian Federation

Abstract. Research aimed to determine the optimal doses of gamma radiation required for sterilisation of agricultural products from biological factors of microbial and fungal nature. To achieve this goal, doses of 5.0, 7.5, 15.0, 22.5, 30.0, 45.0, 60.0, 75.0, 90.0 kGy were tested at the "Issledovatel" gamma installation to sterilize minced meat from microbes; for sterilization of grain from toxic fungi – doses of 7.5, 15.0, 20.0, 22.5, 25.0, 30.0, 35.0, 40.0, 45.0, 60.0 kGy. The dose rate absorbed by the product in all variants was 0.594 Gy/s. When irradiating minced meat infected with *E. coli* strain KV-1 and strain PL-6, a complete absence of microbial growth was observed at a gamma irradiation dose of 20 kGy, with spores of *Cl. perfringens* strain No. 28 (type A) – at a dose of 25 kGy, with one-day culture (vegetative form) *Cl. perfringens* strain No. 28 (type A) – 15 kGy. Complete sterilisation of grain infected with toxigenic fungi *Aspergillus flavus* occurred at a dose of 45.0 kGy, *Aspergillus* – 35.0 kGy, *Fusarium sporotrichiella* – 22.5 kGy, *Helminthosporium* – 20.0 kGy, *Alternaria alternata* – 15.0 kGy. Meat irradiated at a dose of 25 kGy, in terms of organoleptic, physicochemical, bacteriological indicators, as well as biological usefulness (based on the results of daily feeding to rat pups), complied with the requirements of state standards of the Russian Federation, the rules of veterinary examination of slaughter animals and veterinary and sanitary examination of meat and meat products to a good quality product. The study of the general toxicity and biological usefulness of grain (based on the results of daily feeding to rat pups) indicated the non-toxicity and biological usefulness of grain irradiated at doses of 25, 35 kGy and the toxicity of irradiated at a dose of 45 kGy.

Keywords: microbes; microscopic fungi; radication; gamma radiation; radiation dose; dose rate; agricultural products; survivability; quality; safety

Author Details: Y. M. Kurbangaleev, Cand. Sc. (Biol.), leading research fellow (yag72@yandex.ru); T. R. Gaynutdinov, Cand. Sc. (Biol.), leading research fellow; K. N. Vagin, D. Sc. (Biol.), leading research fellow; F. R. Vafin, PhD in Biological Cand. Sc. (Biol.), leading, senior research fellow; Eh. I. Semenov, D. Sc. (Vet.), chief research fellow; L. E. Matrosova, D. Sc. (Biol.); leading research fellow; L. R. Valiullin, Cand. Sc. (Biol.), leading research fellow.

For citation: Kurbangaleev YM, Gaynutdinov TR, Vagin KN, et al. [Radicidation of agricultural products from biological factors of microbial and fungal nature]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024;38(2):58–66. Russian. doi: 10.53859/02352451_2028_38_2_58

С помощью гамма-излучения показаны неоспоримые преимущества в подавлении роста микроорганизмов благодаря его высокой про-

никающей способности, равномерному воздействию на различные объемы продукции [1, 2, 3]. В 2011 г. Комиссия Европейского Управления по безопас-

ности пищевых продуктов (EFSA) в заключении по вопросам эффективности радиационной обработки и микробиологической безопасности облученной пищи подтвердила перспективность использования ионизирующих излучений в агробιοтехнологиях [4].

В мясе, полученном от здоровых животных, как правило, микрофлоры нет. Однако из печени, легких и мезентеральных лимфатических узлов часто выделяют *B. coli*, *B. coli aerogenes*, *B. paracoli*, *B. subtilis*, *B. mesentericus*, *Streptococcus asidi lactis*, *Streptococcus pyogenes aureus*, *Staphylococcus albus*, *Staphylococcus aureus*, а у свиней, кроме перечисленных микробов, – *B. suispestifer*, *B. proteus vulgaris*. Много микробов проникает в мясо при убойе через венозные сосуды раны (зарез) [5].

В нашей стране основным камнем преткновения для широкого практического использования ионизирующих излучений в медицине, сельском хозяйстве, пищевой промышленности считают вопрос установления оптимальных доз облучения и биологической безопасности обработанной продукции [6, 7, 8].

В процессе облучения в растительных и животных тканях образуются свободные радикалы белков, липидов, полисахаридов и других биологически активных соединений [9, 10]. В результате активации молекулы кислорода, происходит разрыв одной из связей с образованием перекисных соединений – радиотоксинов (гидроперекиси и пероксиды, полифенолы, хиноны, ортохиноны, кетоальдегиды, биогенные амины), обладающих антимикробными и фунгицидными свойствами [11, 12, 13]. В малых концентрациях (от 10^{-7} до 10^{-8} М) они действуют подобно природным специфическим эффекторам, выводя геном из состояния покоя [14], а в больших (от 10^{-4} до 10^{-3} М) – как типичные ингибиторы развития [2].

Полная стерилизация мяса (гибель большинства микроорганизмов, включая спорообразующих) происходит при дозах гамма-облучения от 25 до 35 кГр [15].

Характер и степень радиобиологических эффектов зависят от вида излучения, поглощенной дозы излучения, её мощности, относительной биологической эффективности излучения, радиочувствительности облучаемых микроорганизмов [16, 17]. Уровень доз, предлагаемых разными исследователями для стерилизации сельскохозяйственной продукции от биологических факторов микробной и грибковой природы, обеспечивающих получение безопасной облученной продукции, изучена недостаточно. Результаты проведенных исследований различаются весьма значительно.

Обобщив собственные результаты, а также отечественных и зарубежных исследователей, установлено, что дозы гамма излучения для инактивации неспорообразующих бактерий (*Salmonella*, *Campylobacter*, *Listeria*) в свежей и замороженной пище составляют 3...10 кГр, а для получения микробиологически безопасной пищевой продукции с использованием тепловой инактивации и радиационной стерилизации (мясо, птица, фарш, морепродукты, готовая пища, стерилизованные большие диеты) колеблются в пределах 25...60 кГр [4].

Бактерицидный эффект радиации на споры в подавляющем большинстве случаев проявляется при дозах облучения не ниже 10...20 кГр. Если для деконтаминации мяса от неспорообразующей культуры *E. coli* требуется доза гамма-излучения 10...15 кГр, то

от спорообразующего микроба *B. subtilis* – 25 кГр, а от плесневых грибов – 25 кГр [18, 19, 20].

В то же время известно, что содержание токсических продуктов вторичного окисления снижается в результате естественной деградации и к 45...60 суткам после облучения концентрация токсических соединений практически возвращается к контрольным уровням [21].

Объединенный Комитет экспертов Продовольственной и Сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций/Международного агентства по атомной энергии/Всемирная организация здравоохранения (ФАО/МАГАТЭ/ВОЗ) в 1980 г. пришел к выводу, что облучение любых продуктов дозой до 10 кГр токсикологически не значимо, в связи с чем дополнительные токсикологические исследования не требуются [19]. В заключении Комитета величина поглощенной дозы в 10 кГр была обоснована на большом экспериментальном материале исследований разных авторов. Исследования были выполнены на продуктах различного вида и включали изучение химических веществ, образованных после облучения, а также токсикологические характеристики, полученные в опытах на лабораторных животных, выращенных на рационах из облученных продуктов.

Цель исследований – определение оптимальных доз гамма-излучения, необходимых для стерилизации сельскохозяйственной продукции от биологических факторов микробной и грибковой природы с помощью радиационных технологий.

Для ее достижения решали следующие задачи: экспериментально обосновать эффективные дозы гамма-облучения для деконтаминации сельскохозяйственной продукции (мясная продукция) от биологических факторов микробной природы (спорообразующая и неспорообразующая микрофлора); изучить ветеринарно-санитарные показатели (органолептические, микробиологические), биологической полноценности и безопасности сельскохозяйственной продукции в различные сроки после радиационной обработки;

экспериментально обосновать эффективные дозы гамма-облучения продукции растениеводства для деконтаминации от биологических факторов грибковой природы (от токсических грибов);

оценить токсикологическую безопасность облученной продукции растениеводства путем определения общей токсичности на биологических объектах.

Условия, материалы и методы. Облучение продукции животного и растительного происхождения (мясо и зерно) осуществляли в условиях отделения радиобиологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности» (ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ») на гамма-установке «Исследователь» с источником излучения Co^{60} в различных дозах с мощностью поглощенной дозы для всех вариантов и продукции составляла 0,594 Гр/с. Определение основных видов контаминантов мясной продукции от биологических факторов микробной природы проводили на основании предыдущих собственных исследований и литературных данных.

Для изучения радиационной деконтаминации мясной фарш заражали чистыми поддерживаемыми

штаммами следующих культур: неспорообразующий микроб *E. coli* штаммы «КВ-1» и «ПЛ-6» и спорообразующий – *Cl. perfringens* штамм № 28 (тип А).

Опыты по определению эффективных доз гамма-излучения для деконтаминации мясной продукции от биологических факторов микробной природы проводили по следующей схеме: свежий говяжий фарш разливали в 10 пробирок, предварительно стерилизовали для уничтожения сопутствующей микрофлоры автоклавированием при давлении 1,5 атм. в течение 1,5 ч и облучали в дозах 5,0; 7,5; 15,0; 22,5; 30,0; 45,0; 60,0; 75,0; 90,0 кГр. Из 10 пробирок 1 пробирку оставляли необлученной в качестве контроля.

Для заражения мясного фарша культуры *E. coli* штаммы «КВ-1» и «ПЛ-6» выращивали на МПА в течение 1 суток в термостате при температуре 37 °С, а спорообразующую культуру *Cl. perfringens* штамм № 28 (тип А) выращивали в среде Китта-Тароцци в течение 1 суток в термостате при 35 °С. После этого спорообразующую культуру оставляли при комнатной температуре и в аэробных условиях в течение 7...10 суток для спорообразования.

Затем каждую культуру микробов смывали стерильным физраствором, определяли с помощью оптического стандарта концентрацию микробных тел и спор. Полученные взвеси микробов *E. coli* и спор *Cl. perfringens* с концентрацией 850 тыс. микробных тел и спор в 1 мл использовали для заражения стерильного мясного фарша.

Степень инактивации микроорганизмов гамма-облучением определяли путем посева основных загрязнителей из зараженного и облученного субстрата на питательные среды. За пробами облученного бактериального материала вели ежедневный визуальный контроль, учитывали наличие или отсутствие роста, оценивали его интенсивность. Из выращенных культур делали мазки, окрашивали их по Граму. Опыты проводили в 3-х кратной повторности.

Для определения ветеринарно-санитарных качеств и биологической полноценности облученного мяса проводили по следующей схеме. Оструба говядины и баранины облучали на гамма-установке «Исследователь» в дозе 25 кГр с мощностью 0,594 Гр/с без заражения микробами.

Определение органолептических, физико-химических, бактериологических показателей проводили по методикам соответствующих государственных стандартов Российской Федерации, Правил ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и мясных продуктов.

Изучение биологической полноценности и безопасности облученного мяса проводили путем скармливания мясного фарша на 1...10 сутки после облучения крысам-отъёмышам по методам, предусмотренным (Беленький Н. Г., Шаблий В. Я., Игнатьев А. Д. *Методические рекомендации по биологической оценке продуктов питания*. М.: ВАСХНИЛ, 1973. 30 с.). Перед изучением биологической полноценности мяса куски облученного и необлученного мяса после 1,5-часовой варки измельчали на мясорубке. Фарш подсушивали при 60...80 °С до 15...20 % влажности и хранили в холодильнике в закрытой стеклянной таре. Крысят содержали в индивидуальных клетках. В каждой группе содержалось по 10 голов крысят.

Изучение поверхностной микобиоты (заспорение) проводили согласно действующим методическим указаниям (*Методические указания по выделению*

и количественному учету микроскопических грибов в кормах, кормовых добавках и сырье для производства кормов, утвержденным Департаментом ветеринарии Минсельхоза России 14.07.2003 г. № 13-5-02/0827. М., 2003.)

При микологических исследованиях зерна (ячмень, пшеница) для определения общего грибного числа (ОЧГ) в субстрате делали посеvy на питательную среду Чапека путем последовательных разведений размолотой массы субстрата (от 1:100 до 1:10000).

Для определения основных видов загрязнителей и степени контаминации токсическими грибами продуктов растениеводства были исследованы пробы кормов зерновых (ячмень, пшеница) на содержание микроскопических грибов в кормах из различных районов Республики Татарстан. По результатам собственных исследований и литературных данных в условиях хозяйств Республики Татарстан зерно наиболее часто контаминировалось токсическими грибами следующих родов *Aspergillus*, *Alternaria*, *Helminthosporium*, *Fusarium*.

Для изучения радиационной деконтаминации кормов от токсигенных грибов рода *Aspergillus*, *Alternaria*, *Helminthosporium*, *Fusarium* проводили искусственную контаминацию зерна пшеницы и ячменя по следующей схеме. Зерно массой 5...8 г помещали в стеклянные пробирки объемом 20 мл, закрывали ватно-марлевой пробкой и стерилизовали для уничтожения сопутствующей микрофлоры автоклавированием при давлении 1,5 атм. в течение 1,5 ч. Остывший субстрат в пробирках заражали 10-дневным инокулятом вышеуказанных грибов путем внесения 2 мл смыва с агарового столбика. Инокулят был предварительно стандартизирован, концентрация спор была доведена до 2×10^4 /см³ инокулята. Субстрат подвергался гамма-облучению в дозах 7,5; 15,0; 20,0; 22,5; 25,0; 30,0; 35,0; 40,0; 45,0; 60,0 кГр сразу после заражения и через 7 суток культивирования при 26 °С, контроль – без обработки. Ввиду разной радиочувствительности грибов и для более подробного изучения этого показателя в ходе опытов приходилось менять диапазон доз для отдельных видов грибов в зависимости от их радиочувствительности. Например, облучение зерновых при дозах 15 и 22,5 кГр через 0 часов и 7 суток после заражения плесневым грибом *Alternaria alternata* приводит к полной стерилизации взвеси культуры. По наличию роста или количеству пропагул/г субстрата на посевах от необлученного и облученного зерна определяли радиоустойчивость гриба.

Общую токсичность зерна овса, облученного в дозах 25, 35 и 45 кГр, исследовали согласно методикам ГОСТ 31674-2012. Опыты проводили по следующей схеме в период от 3 до 6 суток после облучения на тест-объектах (*Styloynchia mytilus*, беспородные белые мыши и кролики породы серый великан). Для этого водные растворы ацетонового экстракта и водные экстракты из проб облученного и необлученного зерна были внесены в среды со стилонихиями. Для исследования общей токсичности облученного зерна на белых мышах животных опытных групп с помощью шприца с тупой изогнутой иглой вводили однократно в желудок 0,5 см³ выпаренный остаток ацетонового экстракта в растительном масле или водный экстракт облученного зерна. Животным контрольных групп вводили

Таблица 1. Зависимость роста микробов в фарше, зараженном *E. coli* (штаммы KB-1, ПЛ-6), спорами и вегетативной культурой *Cl. perfringens* (штамм № 28 (тип А)), от дозы гамма-облучения

Срок после облучения, сут	Доза гамма-облучения, кГр							Контроль
	5	7,5	10	15	20	22,5	25	
E. coli штамм KB-1								
2	+++*	++	+	-	-	-	-	+++
5	+++	+++	++	+	-	-	-	+++
E. coli штамм ПЛ-6								
2	+++	++	+	+	-	-	-	+++
5	+++	+++	++	+	-	-	-	+++
Споры Cl. perfringens штамм № 28 (тип А)								
2	+++	+++	+++	+++	++	-0	-	+++
5	+++	+++	+++	+++	+++	+0	-	+++
Вегетативная форма Cl. perfringens штамм № 28 (тип А)								
2	+++	+	-	-	-	-	-	+++
5	+++	++	+	-	-	-	-	+++

* - отсутствие роста; + - слабый рост; ++ - умеренный рост; +++ - обильный рост.

соответственно растительное масло и дистиллированную воду. Количество животных в каждой группе составляло 5 голов (n = 5). Общую токсичность облученного зерна на кроликах определяли по двукратному воздействию водного экстракта, а также масляной эмульсии ацетонового экстракта на выстриженную кожу кроликов (n = 5).

Определение биологической полноценности облученного зерна проводили по следующей схеме. Зерно для кормления крысят-отъемышей облучали на гамма-установке «Исследователь» в дозах 25, 35 и 45 кГр с мощностью 0,594 Гр/с без заражения грибами. Зерно скармливали крысятам опытных групп на 3...6 сутки после облучения.

Полученные данные обработаны методом вариационной статистики.

Результаты и обсуждение. При определении эффективных доз гамма-излучения для деконтаминации сельскохозяйственной продукции от биологических факторов микробной природы установлено, что при облучении мясного фарша, зараженного *E. coli* штаммы KB-1 и ПЛ-6, полное отсутствие роста микроба отмечали при дозе гамма-излучения 20 кГр (табл. 1).

При облучении мясного фарша, зараженного спорами *Cl. perfringens* штаммом № 28 (тип А), угнетение роста наступало при дозе гамма-излучения 20 кГр. При дозе 22,5 кГр на 2 сутки после облучения наблюдали полное отсутствие роста культуры, на 5 - слабый рост. При дозе 25 кГр полное отсутствие роста этой культуры отмечали как на 2, так и на 5 сутки после облучения. При облучении мясного фарша, зараженного односуточной культурой *Cl. perfringens* (вегетативная форма), полное отсутствие роста на 2 сутки после облучения фиксировали при дозе 10 кГр, а на 5 сутки после облучения - при 15 кГр.

Согласно данным Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) официально разрешено облучение 27 продуктов животноводства и растениеводства и употребление их в пищу. Рекомендуемые дозы облучения продуктов при этом установлены в пределах от 0,1 до 10 кГр [22]. Показано, что в некоторых продуктах, в частности, в мясе, свежей рыбе и морепродукте, облученных в рекомендованных МАГАТЭ дозах, сохраняют жизнеспособность ряд микроорганизмов, что указывает на необходимость ее увеличения до 15...25 кГр [23, 24, 25].

В аналогичных исследованиях с применением доз 25...35 кГр показано отсутствие токсических эффектов от использования для животных облученных кормов [26].

В предыдущих исследованиях нами показано, что содержание токсических продуктов вторичного радиолитического распада снижается в результате естественной деградации, и к 45...60 суткам после облучения концентрация токсических соединений практически возвращается к контрольным уровням [18, 21].

Мясо, облученное в дозе 25 кГр, по органолептическим, физико-химическим, бактериологическим показателям (табл. 2) соответствовало требованиям государственных стандартов Российской Федерации, Правил ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и мясных продуктов к доброкачественному продукту. Наличие бактерий группы кишечной палочки, сальмонелл, анаэробных бактерий и протей в мясе не обнаруживалось ни в опытных, ни в контрольных группах.

Установлено, что 28-суточное ежедневное скармливание мяса на 1...10 сутки после облучения в дозе 25 кГр не вызывает каких-либо существенных изменений клинических, гематологических и патологоанатомических показателей организма крысят,

Таблица 2. Результаты лабораторных исследований баранины и говядины, облученных в дозе 25 кГр

Доза	Срок исследования, сут. после облучения	рН	Реакция		Амино-аммиачный азот, мг/10 мл вытяжки	Летучие жирные кислоты, мг КОН	Количество микробов в 1 поле зрения	Микробное число
			на пероксидазу	с медным купоросом				
Баранина								
25 кГр	до облучения	5,80±0,03	+	-	0,84±0,02	2,49±0,18	0	0
	1	5,74±0,04	+	-	0,88±0,03	2,64±0,08	0	0
Контроль	до начала опытов	5,76±0,04	+	-	0,84±0,02	2,75±0,07	0	7±7
	1	5,72±0,03	+	-	0,85±0,02	2,65±0,12	3,0	20±16
Говядина								
25 кГр	до облучения	5,81±0,03	+	-	0,86±0,03	2,81±0,06	0	0
	1	5,64±0,03	+	-	0,92±0,03	2,98±0,12	0	0
Контроль	до начала опытов	5,78±0,03	+	-	0,85±0,02	2,65±0,11	0	3±3,5
	1	5,72±0,04	+	-	0,86±0,03	3,14±0,17	0	10±7

Таблица 3. Микологический анализ зерновых, облученных различными дозами, через 0 часов и через 7 суток после заражения токсигенным инокулятом *Aspergillus flavus*

Вид корма	Общее число грибов (ОЧГ), КОЕ/г при облучении		Выделенные грибы (методом разведений)
	сразу после заражения	через 7 суток после заражения	
Контроль зараженный необлученный			
Пшеница	$(7,7 \pm 1,8) \times 10^3$	$(25,1 \pm 3,3) \times 10^3$	<i>A. flavus</i>
Ячмень	$(7,9 \pm 1,6) \times 10^3$	$(22,8 \pm 3,7) \times 10^3$	<i>A. flavus</i>
Доза 7,5 кГр			
Пшеница	$(4,8 \pm 1,1) \times 10^3$	$(2,7 \pm 0,8) \times 10^{3*}$	<i>A. flavus</i>
Ячмень	$(4,6 \pm 1,2) \times 10^3$	$(1,9 \pm 0,5) \times 10^{3*}$	<i>A. flavus</i>
Доза 15 кГр			
Пшеница	$(3,6 \pm 0,9) \times 10^3$	$(1,6 \pm 0,3) \times 10^{3*}$	<i>A. flavus</i>
Ячмень	$(3,0 \pm 0,8) \times 10^{3*}$	$(0,6 \pm 0,1) \times 10^{3*}$	<i>A. flavus</i>
Доза 30 кГр			
Пшеница	$(2,8 \pm 0,6) \times 10^{3*}$	$(0,2 \pm 0,05) \times 10^{3*}$	<i>A. flavus</i>
Ячмень	$(2,6 \pm 0,7) \times 10^{3*}$	роста нет	
Доза 45 кГр			
Пшеница	роста нет	роста нет	
Ячмень	роста нет	роста нет	

*(здесь и в таблицах 3, 4, 5 и 6) различия достоверны, относительно контроля, при $p < 0,05$.

а также интенсивности их роста, по сравнению с контрольными аналогами. Результаты исследований свидетельствуют о биологической полноценности и безвредности мяса и зерна, облученных в указанной дозе.

Таблица 4. Микологический анализ зерновых, облученных дозами 25; 35 и 45 кГр через 0 часов и через 7 суток после заражения инокулятом *Aspergillus sp* (не агрессивный штамм)

Вид корма	Общее число грибов (ОЧГ), КОЕ/г при облучении		Выделенные грибы (методом разведений)
	сразу после заражения	через 7 суток после заражения	
Контроль зараженный необлученный			
Пшеница	(7,4±1,7)×10 ³	(17,7±2,4)×10 ³	A. sp
Ячмень	(7,6±1,5)×10 ³	(18,9±2,8)×10 ³	A. sp
Доза 25 кГр			
Пшеница	(2,4±0,4)×10 ^{3*}	(1,6±0,3)×10 ^{3*}	A. sp
Ячмень	(1,0±0,2)×10 ^{3*}	(1,2±0,2)×10 ^{3*}	A. sp
Доза 35 кГр			
Пшеница	роста нет	роста нет	
Ячмень	роста нет	роста нет	
Доза 45 кГр			
Пшеница	роста нет	роста нет	
Ячмень	роста нет	роста нет	

Для определения основных видов загрязнителей и степени контаминации токсическими грибами продуктов растениеводства были исследованы пробы кормов зерновых (ячмень, пшеница) на содержание микроскопических грибов в кормах из различных районов Республики Татарстан. По результатам собственных исследований и литературных данных

ационная обработка зерна дозами 15 и 30 кГр (табл. 3) сразу после заражения (через 0 часов) приводила к уменьшению числа КОЕ. Общее число грибов *Aspergillus flavus* составляло $2,6 \times 10^3 \dots 3,6 \times 10^3$ (КОЕ/г корма), что не превышает ПДК (2×10^4). При облуче-

нии зерновых теми же дозами через 7 суток после заражения токсигенным инокулятом *Aspergillus flavus* установлено ещё большее уменьшение числа КОЕ ($0 \dots 1,6 \times 10^3$ КОЕ/г корма). Полная стерилизация взвеси культуры токсигенного плесневого гриба *Aspergillus flavus* наступает при дозе 45 и 60 кГр. При облучении грибов рода *Aspergillus sp* в дозе 25 кГр через 0 часов после заражения (табл. 4) общее число грибов составляло от $2,4 \times 10^3$ до $1,0 \times 10^3$ (КОЕ/г корма), что не превышает ПДК (2×10^4). Облучение зерна дозами 35 и 45 кГр приводило к полной стерилизации культуры.

Ввиду разной радиочувствительности грибов и для более подробного изучения этого показателя в ходе опытов приходилось менять диапазон доз для

Таблица 5. Микологический анализ зерновых, облученных дозами 7,5; 15 и 22,5 кГр через 0 часов и через 7 суток после заражения инокулятом *Alternaria alternata*

Вид корма	Общее число грибов (ОЧГ), КОЕ/г при облучении		Выделенные грибы (методом разведений)
	сразу после заражения	через 7 суток после заражения	
Контроль зараженный необлученный			
Пшеница	(8,2±1,9)×10 ³	(14,4±2,3)×10 ³	Alternaria alternata
Ячмень	(7,7±1,6)×10 ³	(16,3±2,4)×10 ³	Alternaria alternata
Доза 7,5 кГр			
Пшеница	(2,4±0,5)×10 ^{3*}	(1,4±0,3)×10 ^{3*}	Alternaria alternata
Ячмень	(1,5±0,2)×10 ^{3*}	(1,2±0,2)×10 ^{3*}	Alternaria alternata
Доза 15 кГр			
Пшеница	роста нет	роста нет	
Ячмень	роста нет	роста нет	
Доза 22,5 кГр			
Пшеница	роста нет	роста нет	
Ячмень	роста нет	роста нет	

в условиях хозяйств Республики Татарстан зерно наиболее часто контаминировалось токсическими грибами следующих родов: *Aspergillus*, *Alternaria*, *Helminthosporium*, *Fusarium*.

В связи с этим для изучения радиационной де-контаминации кормов от токсигенных грибов проводили искусственную контаминацию зерна пшеницы и ячменя следующими видами грибов *Aspergillus flavus*, *Aspergillus sp*, *Fusarium sporotrichiella*, *Helminthosporium*, *Alternaria*.

Проведенные исследования показали, что радиация показала, что радиационная обработка зерна дозами 15 и 30 кГр (табл. 3) сразу после заражения (через 0 часов) приводила к уменьшению числа КОЕ. Общее число грибов *Aspergillus flavus* составляло $2,6 \times 10^3 \dots 3,6 \times 10^3$ (КОЕ/г корма), что не превышает ПДК (2×10^4). При облуче-

нии зерновых теми же дозами через 7 суток после заражения токсигенным инокулятом *Aspergillus flavus* установлено ещё большее уменьшение числа КОЕ ($0 \dots 1,6 \times 10^3$ КОЕ/г корма). Полная стерилизация взвеси культуры токсигенного плесневого гриба *Aspergillus flavus* наступает при дозе 45 и 60 кГр.

При облучении грибов рода *Aspergillus sp* в дозе 25 кГр через 0 часов после заражения (табл. 4) общее

число грибов составляло от $2,4 \times 10^3$ до $1,0 \times 10^3$ (КОЕ/г корма), что не превышает ПДК (2×10^4). Облучение зерна дозами 35 и 45 кГр приводило к полной стерилизации культуры. Ввиду разной радиочувствительности грибов и для более подробного изучения этого показателя в ходе опытов приходилось менять диапазон доз для отдельных видов грибов в зависимости от их радиочувствительности. Например, облучение зерновых при дозах 15 и 22,5 кГр через 0 часов и 7 суток после заражения плесневым грибом *Alternaria alternata* приводит к полной стерилизации взвеси культуры.

Общее число грибов рода *Aspergillus sp* в зерновых, облученных в дозе 25 кГр через 7 суток после заражения, было ниже, чем при облучении этой же дозой через 0 часов после

Таблица 6. Микологический анализ зерновых, облученных дозами 10; 20; 30 и 40 кГр через 0 часов и через 7 суток после заражения инокулятом *Helminthosporium*

Вид корма	Общее число грибов (ОЧГ), КОЕ/г при облучении		Выделенные грибы (методом разведений)
	сразу после заражения	через 7 суток после заражения	
Контроль зараженный необлученный			
Пшеница	$(8,4 \pm 1,5) \times 10^3$	$(11,9 \pm 2,3) \times 10^3$	<i>Helminthosporium</i>
Ячмень	$(7,8 \pm 1,7) \times 10^3$	$(12,6 \pm 2,0) \times 10^3$	<i>Helminthosporium</i>
Доза 10 кГр			
Пшеница	$(1,8 \pm 0,4) \times 10^{3*}$	$(1,3 \pm 0,2) \times 10^{3*}$	<i>Helminthosporium</i>
Ячмень	$(1,5 \pm 0,3) \times 10^{3*}$	$(1,5 \pm 0,4) \times 10^{3*}$	<i>Helminthosporium</i>
Доза 20 кГр			
Пшеница	роста нет	роста нет	
Ячмень	роста нет	роста нет	
Доза 30 кГр			
Пшеница	роста нет	роста нет	
Ячмень	роста нет	роста нет	
Доза 40 кГр			
Пшеница	роста нет	роста нет	
Ячмень	роста нет	роста нет	

заражения. Облучение зерна дозами 35 и 45 кГр приводило к полной стерилизации культуры.

После радиационной обработки зерновых в дозе 7,5 кГр через 0 часов после заражения (табл. 5) грибами рода *Alternaria alternata* общее число грибов составляло от $1,5 \times 10^3$ до $2,4 \times 10^3$ (КОЕ/г корма). Облучение зерна дозами 15 и 22,5 кГр приводило к полной стерилизации культуры.

Исследованиями установлено, что облучение зерновых при дозах 15 и 22,5 кГр через 7 суток после заражения плесневым грибом *Alternaria alternata* приводит к полной стерилизации взвеси культуры. Рост грибов выявили при радиационной обработке в дозе 7,5 кГр. Общее число грибов составляло от $1,2 \times 10^3$ до $1,4 \times 10^3$ (КОЕ/г корма).

Таблица 7. Микологический анализ зерновых, облученных дозами 7,5; 15; 22,5 и 30 кГр через 0 часов и через 7 суток после заражения инокулятом *Fusarium sporotrichiella*

Вид корма	Общее число грибов (ОЧГ), КОЕ/г при облучении		Выделенные грибы (методом разведений)
	сразу после заражения	через 7 суток после заражения	
Контроль зараженный необлученный			
Пшеница	(7,3±1,8)×10 ³	(23,7±3,3)×10 ³	<i>Fusarium sporotrichiella</i>
Ячмень	(7,5±1,6)×10 ³	(20,5±2,6)×10 ³	<i>Fusarium sporotrichiella</i>
Доза 7,5 кГр			
Пшеница	(12,6±1,7)×10 ³	(1,0±0,2)×10 ^{3*}	<i>Fusarium sporotrichiella</i>
Ячмень	(8,6±1,3)×10 ³	(7,6±1,1)×10 ^{3*}	<i>Fusarium sporotrichiella</i>
Доза 15 кГр			
Пшеница	(2,2±0,4)×10 ^{3*}	(0,8±0,2)×10 ^{3*}	<i>Fusarium sporotrichiella</i>
Ячмень	(10,8±2,1)×10 ³	(6,2±1,4)×10 ^{3*}	<i>Fusarium sporotrichiella</i>
Доза 22,5 кГр			
Пшеница	роста нет	роста нет	
Ячмень	роста нет	роста нет	
Доза 30 кГр			
Пшеница	роста нет	роста нет	
Ячмень	роста нет	роста нет	

Исследованиями установлено, что облучение корма при дозах 20; 30 и 40 кГр через 0 суток после заражения (табл. 6) плесневым грибом *Helminthosporium* приводит к полной стерилизации взвеси культуры. Рост грибов выявили при радиационной обработке

Таблица 8. Рост грибов при различных дозах облучения зараженной зерновой продукции

Доза, кГр	<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Aspergillus sp</i>	<i>Fusarium sporotrichiella</i>	<i>Helminthosporium</i>	<i>Alternaria alternata</i>
Доза умеренного роста	30	25	15	10	7,5
Доза полной стерилизации	45	35	22,5	20	15

в дозе 10 кГр. Общее число грибов составляло от $1,5 \times 10^3$ до $1,8 \times 10^3$ (КОЕ/г корма).

Облучение кормов при дозах 20, 30, 40 кГр через 7 суток после заражения плесневым грибом *Helminthosporium* приводит к полной стерилизации взвеси культуры. Рост грибов выявили при радиационной обработке в дозе 10 кГр. Общее число грибов составляло от $1,3 \times 10^3$ до $1,5 \times 10^3$ (КОЕ/г корма).

Исследованиями установлено, что гамма-облучение зерновых в дозах 22,5 и 30 кГр через 0 часов

после заражения (табл. 7) инокулятом *Fusarium sporotrichiella* приводит к полной стерилизации корма. Рост грибов выявили при радиационной обработке в дозе 7,5 и 15 кГр. Общее число грибов составляло при дозе 7,5 для пшеницы $12,6 \times 10^3$, для ячменя $8,6 \times 10^3$ (КОЕ/г корма). При дозе 15 кГр величины этих показателей достигали соответственно $2,21 \times 10^3$ и $10,8 \times 10^3$.

При гамма-облучении зерновых в дозах 22,5 и 30 кГр через 7 суток после заражения инокулятом *Fusarium sporotrichiella* приводит к полной стерилизации корма. При дозах облучения 7,5 и 15 кГр общее число грибов для пшеницы и ячменя колебалось от $0,8 \times 10^3$ до $7,6 \times 10^3$ (КОЕ/г корма).

Таким образом, в результате определения эффективных доз гамма-излучения для деконтаминации зерновой продукции от биологических факторов грибковой природы установлено (табл. 8), что полная стерилизация зерна, зараженного токсигенными грибами *Aspergillus flavus*, наступает при дозе 45,0 кГр, *Aspergillus sp* – 35,0 кГр, *Fusarium sporotrichiella* – 22,5 кГр, *Helminthosporium* – 20,0 кГр, *Alternaria alternata* – 15,0 кГр.

В ходе определения общей токсичности зерна, облученного для стерилизации от биологических агентов грибкового происхождения, установлено (табл. 9), что выживаемость инфузорий *Stylonychia mytilus*

при воздействии водного раствора ацетонового экстракта зерна, облученного в дозах 25, 35 и 45 кГр, составила соответственно $(82,1 \pm 3,5) \%$, $(80,8 \pm 3,5) \%$ и $(74,1 \pm 2,3) \%$ при $(87,0 \pm 2,9) \%$ выживаемости в контроле. При воздействии водного экстракта

Таблица 9. **Общая токсичность водного экстракта и водного раствора ацетонового экстракта зерна овса, облученного в дозах 25, 35 и 45 кГр**

Доза облучения, кГр	Выживаемость стилоний, % (кратность исследования одной пробы корма = 5)	
	водный экстракт зерна	водный раствор ацетонового экстракта зерна
25	84,4 ± 2,7	82,1 ± 3,5
35	82,1 ± 3,5	80,8 ± 3,5
45	79,0 ± 3,9	74,1 ± 2,3
Контроль необлученный	89,4 ± 2,8	87,0 ± 2,9
Выживаемость белых мышей, % (n = 5).		
25	100	100
35	100	100
45	100	80
Контроль необлученный	100	100
Наличие положительной кожной реакции, % (n = 5).		
25	0	0
35	0	0
45	0	100
Контроль необлученный	0	0

зерна овса, облученного в дозе 25, 35 и 45 кГр, выживаемость инфузорий *Stylonychia mytilus* составила, соответственно, (84,4 ± 2,7) %, (82,1 ± 3,5) % и (79,0 ± 3,9) % при (89,4 ± 2,8) % выживаемости в контроле.

По нормативу комбикорма для продуктивных и непродуктивных животных, птиц и рыб, фуражное зерно и продукты его переработки считаются нетоксичными при выживаемости стилоний от 70 % до 100 %. Слаботоксичными при выживаемости от 40 % до 69 % и токсичными при выживаемости от 0 % до 39 %. Нетоксичные комбикорма для свиней должны обеспечивать выживаемость от 80 % до 100 % стилоний, а слаботоксичные – от 40 % до 79 %.

В опытах по изучению общей токсичности зерна, облученного в дозах 25, 35 и 45 кГр, на мышах при введении водного экстракта зерна падежа животных не наблюдалось. При вскрытии убитых мышей патологоанатомических изменений обнаружено не было. Введение масляной эмульсии осадка ацетонового экстракта зерна, облученного в дозах 25, 35 кГр, также не приводило к падежу мышей или патологоанатомическим изменениям их внутренних органов.

При введении аналогичной эмульсии ацетонового экстракта зерна, облученного в дозе 45 кГр, одна мышь из 5 пала на 4 сутки после введения экстракта. При вскрытии павшей мыши было обнаружено геморрагическое воспаление желудочно-кишечного тракта с кровоизлияниями на слизистой кишечника и почек. При вскрытии выживших мышей опытной группы, а также мышей контрольной группы аналогичных изменений не обнаружено. Полученные данные свидетельствуют о токсичности зерна овса, облученного в дозе 45 кГр, на указанный срок исследования (3...6 сутки после облучения).

Общую токсичность облученного зерна определяли также по двукратному воздействию водного экстракта, а также масляной эмульсии ацетонового экстракта на кожу кроликов. По результатам воздействия как водного, так и ацетонового экстрактов зерна, облученного в дозах 25, 35 кГр, кожные реакции на кроликах были отрицательными, что свидетельствовало об отсутствии общей токсичности у облученного в указанных дозах зерна.

В результате нанесения водных экстрактов зерна, облученного в дозе 45 кГр, наблюдалось лишь кратковременная гиперемия, продолжавшаяся не более 2 суток, что указывает согласно на нетоксичность исследуемого корма.

При аналогичном двукратном нанесении масляной

эмульсии осадка ацетонового экстракта зерна, облученного в дозе 45 кГр, у всех 5 животных, в группе наблюдалась гиперемия, сохранившаяся 3 суток после повторного нанесения экстракта, болезненность, отечность кожи, что указывает на токсичность облученного в указанной дозе зерна.

Таким образом, изучение общей токсичности зерна овса, проведенное на 3...6 сутки после облучения на тест-объектах – *Stylonychia mytilus*, белых мышах и кроликах, свидетельствовало о нетоксичности зерна, облученного в дозах 25, 35 кГр и токсичности облученного дозе в 45 кГр.

Оценку биологической полноценности зерна проводили на 10 сут после облучения на 40 крысках-отъемышах, разделенных на 4 группы. Крыскам 1, 2, 3 групп скармливали овес, подвергнутый гамма-облучению в дозах 25, 35 и 45 кГр. Крыскам 4 (контрольной) группы скармливали необлученный овес. За период опытов по скармливанию овса в 1 группе падежа крыс не наблюдали, во 2 группе пал один крысенок (на 20 сутки), в 3 группе два крысенка (на 17 и 19 сутки) при 100 %-ной выживаемости в контрольной группе. В итоге средняя живая масса крыс 1 и 2 групп к концу опыта (на 28 сутки) была на 4,7 % и 2,5 % выше, а 3 группы на 2,2 % ниже контроля ($p > 0,05$). Выживаемость крыс 2 и 3 групп была соответственно на 10 % и 20 % ниже, чем в контрольной и в 1 группах. Таким образом, из полученных данных следует, что гамма-облучение зерна в дозе 45 кГр приводит к повышению его общей токсичности и снижению биологической полноценности.

Выводы. При гамма облучении мясного фарша, зараженного микробами, доза полного отсутствия роста для *E. coli* штаммов KB-1 и ПЛ-6 составляла 20 кГр, для спор *Cl. perfringens* штамм № 28 (тип А) – 25 кГр, для односточной культуры (вегетативная форма) *Cl. perfringens* штамм № 28 (тип А) – 15 кГр.

Мясо, облученное в дозе 25 кГр, по органолептическим, физико-химическим, бактериологическим показателям соответствовало требованиям государственных стандартов Российской Федерации, Правил ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и мясных продуктов к доброкачественному продукту.

Ежедневное скармливание мяса на 1...10 сутки после облучения в дозе 25 кГр в течение 28 суток не вызывает каких-либо существенных изменений клинических, гематологических и патологоанато-

мических показателей организма крысят, а также интенсивности их роста, по сравнению с контрольными аналогами.

Полная стерилизация зерна, зараженного токсигенными грибами *Aspergillus flavus* наступает при дозе 45,0 кГр, *Aspergillus sp* – 35,0 кГр, *Fusarium sporotrichiella* – 22,5 кГр, *Helminthosporium* – 20,0 кГр, *Alternaria alternata* – 15,0 кГр.

Изучение общей токсичности зерна овса, проведенное на 3...6 сутки после облучения на тест-объектах – *Stylonychia mytilus*, белых мышах и

кроликах, свидетельствует о нетоксичности зерна, облученного в дозах 25, 35 кГр и токсичности облученного дозе в 45 кГр.

За период опытов по скармливанию зерна, облученного в дозах 25 и 35 кГр, средняя живая масса крысят к концу опыта (на 28 сутки) была на 4,7 % и 2,5 % выше, а при 45 кГр на 2,2 % ниже контроля ($p > 0,05$). Выживаемость крысят, потреблявших зерно, обработанное дозами 35 и 45 кГр была соответственно на 10 % и 20 % ниже, чем в контроле и в группе, получавшей зерно, облученное дозой 25 кГр.

Литература.

1. Концептуальные основы конструирования иммунотерапевтических средств при многофакторной экопатологии / Р. Н. Низамов, Ж. Р. Насыбуллина, К. Н. Вагин и др. Казань: Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, 2021. 301 с.
2. Effects of acute and chronic gamma irradiation on the cell biology and physiology of rice plants / H.-I. Choi, S. M. Han, Y. D. Jo, et al. // *Plants*. 2021. Vol. 10. No. 3. Article 439. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/3/439/xml> (дата обращения: 22.01.2024). doi: 10.3390/plants10030439.
3. Pathogens inactivated by low-energy-electron irradiation maintain antigenic properties and induce protective immune responses / J. Fertey, L. Bayer, T. Grunwald, et al. // *Viruses*. 2016. Vol. 8. No. 11. Article 319. URL: <https://www.mdpi.com/1999-4915/8/11/319> (дата обращения: 22.01.2024). doi: 10.3390/v8110319.
4. Козьмин Г. В., Гераськин С. А., Санжарова Н. И. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. Обнинск: ВНИИРАЭ, 2015. 400 с.
5. Сенченко Б. С. Ветеринарно-санитарная экспертиза продуктов животного и растительного происхождения. Серия «Технология пищевых производств». Ростов-на-Дону: МарТ, 2001. 704 с.
6. Определение оптимальных доз ионизирующего излучения для инактивации возбудителя некробактериоза / Т. Р. Гайнутдинов, Г. Ш. Закирова, А. М. Идрисов и др. // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана*. 2020. Т. 244 (IV). С. 61–64.
7. Гайнутдинов Т. Р. Экспериментальный подбор доз ионизирующего излучения, вызывающих ингибирование роста и полную инактивацию золотистого стафилококка // *Ветеринарный врач*. 2020. № 4. С. 4–8.
8. Использование радиационных технологий для удлинения сроков хранения продуктов и кормов / Я. М. Курбангалеев, Р. Н. Низамов, Г. В. Конюхов и др. // *Ветеринарный врач*. 2016. № 3. С. 9–14.
9. Dessalegn B., Bitew M., Asfaw D. Gamma-irradiated fowl cholera mucosal vaccine: Potential vaccine candidate for safe and effective immunization of chicken against fowl cholera // *Front. Immunol.* 2021. Vol. 12. Article 768820. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fimmu.2021.768820/full> (дата обращения: 22.01.2024). doi: 10.3389/fimmu.2021.768820.
10. Effects of cold plasma, gamma and e-beam irradiations on reduction of fungal colony forming unit levels in medical cannabis inflorescences / S. Jerushalmi, M. Maymon, A. Dombrovsky, et al. // *J Cannabis Res.* 2020. Vol. 2. Article 12. URL: <https://jcanabisresearch.biomedcentral.com/articles/10.1186/s42238-020-00020-6> (дата обращения: 09.01.2024).
11. Toxicological and medical aspects of aspergillus-derived mycotoxins entering the feed and food chain / Z. Raduly, L. Szabo, A. Madar, et al. // *Front Microbiol.* 2020. Vol. 10. Article 2908. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2019.02908/full> (дата обращения: 09.01.2024). doi: 10.3389/fmicb.2019.02908.
12. Influences of electron beam irradiation on the physical and chemical properties of zearalenone- and ochratoxin A-contaminated corn and in vivo toxicity assessment / X. Luo, Y. Zhai, L. Qi, et al. // *Foods*. 2020. Vol. 9. No. 3. Article 376. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/3/376> (дата обращения: 22.01.2024).
13. Inactivation of bacteria by γ -irradiation to investigate the interaction with antimicrobial peptides / W. Correa, J. Brandenburg, J. Behrends, et al. // *Biophys J.* 2019. Vol. 117. No. 10. P. 1805–1819. doi: 10.1016/j.bpj.2019.10.012.
14. Food irradiation: Effect of ionizing and non-ionizing radiations on preservation of fruits and vegetables— a review / B. Bisht, P. Bhatnagar, P. Gururani, et al. // *Trends in Food Science and Technology*. 2021. Vol. 114. P. 372–385. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224421003678/> (дата обращения: 09.01.2024).
15. Методические рекомендации по гамма-облучению различных видов продукции и сырья растительного и животного происхождения / Р. Н. Низамов, В. В. Уаев, Н. М. Василевский и др. Казань: МеДДоК, 2021. 63 с.
16. Influence of gamma irradiation on different phytochemical constituents of dried rose hip (*Rosa canina* L.) fruits / M. Ognyanov, P. Denev, D. Teneva, et al. // *Molecules*. 2022. Vol. 27. No. 6. Article 1765. URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/6/1765> (дата обращения: 09.01.2024). doi: 10.3390/molecules27061765.
17. Hanafy R. S., Akladios S. A. Physiological and molecular studies on the effect of gamma radiation in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) plants // *J Genet Eng Biotechnol.* 2018. Vol. 16. No. 2. P. 683–692. doi: 10.1016/j.jgeb.2018.02.012.
18. Оценка биологической безопасности облученных кормов и пищевых продуктов / Я. М. Курбангалеев, Т. Р. Гайнутдинов, А. М. Идрисов и др. // *Ветеринарный врач*. 2022. № 2. С. 21–28. doi: 10.33632/1998-698X.2022_21_28.
19. Научные основы применения радиационных технологий в сельском хозяйстве / Н. И. Санжарова, С. А. Гераськин, Н. Н. Исамов и др. Обнинск: ВНИИСХР, 2013. 133 с.
20. Джей Д., Лёсснер М. Дж., Гольден Д. А. Современная пищевая микробиология. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. 887 с.
21. Определение безопасности облученной продукции по содержанию хинонов / Я. М. Курбангалеев, К. Н. Вагин, Т. Р. Гайнутдинов и др. // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана*. 2021. Т. 246 (II). С. 122–128.
22. Gautam S., Tripathi J. Food processing by irradiation – an effective technology for food safety and security // *Indian J Exp Biol.* 2016. Vol. 54. No. 11. P. 700–707. URL: <https://nopr.niscpr.res.in/bitstream/123456789/36891/1/IJEB%2054%2811%29%20700-707.pdf> (дата обращения: 09.01.2024).
23. Rabab W. M., Khaled M. E. Chemical quality and nutrient composition of strawberry fruits treated by γ -irradiation // *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 2017. Vol. 10. No. 1. P. 80–87.
24. Ravindran R., Jaiswal A. K. Wholesomeness and safety aspects of irradiated foods // *Food Chem.* 2019. Vol. 285. P. 363–368.

25. Osaili T. M., Al-Nabulsi A. A., Aljaafreh T. F. Use of gamma radiation for inactivating *Salmonella* spp., *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in tahini halva // *Int J Food Microbiol.* 2018. Vol. 278. No. 2. P. 20–25.
26. Ji A., An I. Irradiation: Utilization, advances, safety, acceptance, future trends, and a means to enhance food security // *Advances in Applied Science Research*. 2020. Vol. 11. No. 3. Article 1. URL: <https://www.primescholars.com/articles/irradiation-utilization-advances-safety-acceptance-future-trends-and-a-means-to-enhance-food-security.pdf> (дата обращения: 09.01.2024). doi: 10.36648/0976-8610.11.3.1.

References

1. Nizamov RN, Nasybullina ZhR, Vagin KN, et al. Kontseptual'nye osnovy konstruirovaniya immunoterapevticheskikh sredstv pri mnogofaktornoi ekopatologii [Conceptual basis for the design of immunotherapeutic agents for multifactorial ecopathology]. Kazan' (Russia): Federal'nyi tsentr toksikologicheskoi, radiatsionnoi i biologicheskoi bezopasnosti; 2021. 301 p. Russian.
2. Choi H-I, Han SM, Jo YD, et al. Effects of acute and chronic gamma irradiation on the cell biology and physiology of rice plants. *Plants* [Internet]. 2021 [cited 2024 Jan 22];10(3): Article 439. Available from: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/3/439/xml>. doi: 10.3390/plants10030439.
3. Fertey J, Bayer L, Grunwald T, et al. Pathogens inactivated by low-energy-electron irradiation maintain antigenic properties and induce protective immune responses. *Viruses* [Internet]. 2016 [cited 2024 Jan 22];8(11): Article 319. Available from: <https://www.mdpi.com/1999-4915/8/11/319>. doi: 10.3390/v8110319.
4. Koz'min GV, Geras'kin SA, Sanzharova NI. Radiatsionnye tekhnologii v sel'skom khoziaistve i pishchevoi promyshlennosti [Radiation technologies in agriculture and food industry]. Obninsk (Russia): VNIIRAE; 2015. 400 p. Russian.
5. Senchenko BS. Veterinarno-sanitarnaya ekspertiza produktov zhivotnogo i rastitel'nogo proiskhozhdeniya [Veterinary and sanitary examination of products of animal and plant origin]. Rostov-on-Don (Russia): MarT; 2001. 704 p. Russian.
6. Gainutdinov TR, Zakirova GSh, Idrisov AM, et al. [Determination of optimal doses of ionizing radiation for inactivation of the causative agent of necrobacteriosis]. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N. E. Baumana*. 2020;244:61-4. Russian.
7. Gainutdinov TR. [Experimental selection of doses of ionizing radiation causing growth inhibition and complete inactivation of *Staphylococcus aureus*]. *Veterinarnyi vrach*. 2020;(4):4-8. Russian.
8. Kurbangaleev YaM, Nizamov RN, Konyukhov GV, et al. [Using radiation technologies to extend the shelf life of food and feed]. *Veterinarnyi vrach*. 2016;(3):9-14. Russian.
9. Dessalegn B, Bitew M, Asfaw D. Gamma-irradiated fowl cholera mucosal vaccine: Potential vaccine candidate for safe and effective immunization of chicken against fowl cholera. *Front. Immunol* [Internet]. 2021 [cited 2024 Jan 22];12: Article 768820. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fimmu.2021.768820/full>. doi: 10.3389/fimmu.2021.768820.
10. Jerushalmi S, Maymon M, Dombrovsky A, et al. Effects of cold plasma, gamma and e-beam irradiations on reduction of fungal colony forming unit levels in medical cannabis inflorescences. *J Cannabis Res* [Internet]. 2020 [cited 2024 Jan 9];2: Article 12. Available from: <https://j cannabisresearch.biomedcentral.com/articles/10.1186/s42238-020-00020-6>.
11. Raduly Z, Szabo L, Madar A, et al. Toxicological and medical aspects of aspergillus-derived mycotoxins entering the feed and food chain. *Front Microbiol* [Internet]. 2020 [cited 2024 Jan 9];10: Article 2908. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2019.02908/full>. doi: 10.3389/fmicb.2019.02908.
12. Luo X, Zhai Y, Qi L, et al. Influences of electron beam irradiation on the physical and chemical properties of zearalenone- and ochratoxin a-contaminated corn and in vivo toxicity assessment. *Foods* [Internet]. 2020 [cited 2024 Jan 22];9(3): Article 376. Available from: <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/3/376>.
13. Correa W, Brandenburg J, Behrends J, et al. Inactivation of bacteria by γ -irradiation to investigate the interaction with antimicrobial peptides. *Biophys J*. 2019;117(10):1805-19. doi: 10.1016/j.bpj.2019.10.012.
14. Bisht B, Bhatnagar P, Gururani P, et al. Food irradiation: Effect of ionizing and non-ionizing radiations on preservation of fruits and vegetables— a review. *Trends in Food Science and Technology* [Internet]. 2021 [cited 2024 Jan 9];114:372-85. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224421003678/>.
15. Nizamov RN, Uvaev VV, Vasilevskii NM, et al. Metodicheskie rekomendatsii po gamma-oblucheniyu razlichnykh vidov produktov i syr'ya rastitel'nogo i zhivotnogo proiskhozhdeniya [Guidelines for gamma-irradiation of various types of products and raw materials of plant and animal origin]. Kazan' (Russia): MeDDoK; 2021. 63 p. Russian.
16. Ognyanov M, Denev P, Teneva D, et al. Influence of gamma irradiation on different phytochemical constituents of dried rose hip (*Rosa canina* L.) fruits. *Molecules* [Internet]. 2022 [cited 2024 Jan 9];27(6): Article 1765. Available from: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/6/1765>. doi: 10.3390/molecules27061765.
17. Hanafy RS, Akladios SA. Physiological and molecular studies on the effect of gamma radiation in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) plants. *J Genet Eng Biotechnol*. 2018;16(2):683-92. doi: 10.1016/j.jgeb.2018.02.012.
18. Kurbangaleev YaM, Gainutdinov TR, Idrisov AM, et al. [Assessment of biological safety of irradiated feed and food products]. *Veterinarnyi vrach*. 2022;(2):21-8. Russian. doi: 10.33632/1998-698X.2022_21_28.
19. Sanzharova NI, Geras'kin SA, Isamov NN, et al. Nauchnye osnovy primeneniya radiatsionnykh tekhnologii v sel'skom khoziaistve [Scientific basis for the application of radiation technologies in agriculture]. Obninsk (Russia): VNIISKhR; 2013. 133 p. Russian.
20. Dzhei D, Lessner MDzh, Gol'den DA. Sovremennaya pishchevaya mikrobiologiya [Modern food microbiology]. Moscow: Binom. Laboratoriya znaniy; 2014. 887 p. Russian.
21. Kurbangaleev YaM, Vagin KN, Gainutdinov TR, et al. [Determination of the safety of irradiated products based on quinone content]. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N. E. Baumana*. 2021;246:122-8. Russian.
22. Gautam S, Tripathi J. Food processing by irradiation – an effective technology for food safety and security. *Indian J Exp Biol* [Internet]. 2016 [cited 2024 Jan 9];54(11):700-7. Available from: <https://nopr.niscpr.res.in/bitstream/123456789/36891/1/IJEB%2054%2811%29%20700-707.pdf>.
23. Rabab WM, Khaled ME. Chemical quality and nutrient composition of strawberry fruits treated by γ -irradiation. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 2017;10(1):80-7.
24. Ravindran R, Jaiswal AK. Wholesomeness and safety aspects of irradiated foods. *Food Chem*. 2019;285:363-8.
25. Osaili TM, Al-Nabulsi AA, Aljaafreh TF. Use of gamma radiation for inactivating *Salmonella* spp, *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in tahini halva. *Int J Food Microbiol*. 2018;278(2):20-5.
26. Ji A, An I. Irradiation: Utilization, advances, safety, acceptance, future trends, and a means to enhance food security. *Advances in Applied Science Research* [Internet]. 2020 [cited 2024 Jan 9];11(3): Article 1. Available from: <https://www.primescholars.com/articles/irradiation-utilization-advances-safety-acceptance-future-trends-and-a-means-to-enhance-food-security.pdf>. doi: 10.36648/0976-8610.11.3.1.