

На правах рукописи



ЧИЖ Тарас Васильевич

**ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА
СОХРАННОСТЬ И КАЧЕСТВО ОВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ**

Специальность 1.5.1 – Радиобиология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Обнинск – 2023

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт — ВНИИРАЭ»), г. Обнинск.

Научный руководитель:

Лой Надежда Николаевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт — ВНИИРАЭ».

Официальные оппоненты:

Мальцев Станислав Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», главный научный сотрудник, заведующий лабораторией хранения и переработки картофеля.

Вазиров Руслан Альбертович, кандидат биологических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», доцент, старший научный сотрудник.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва.

Защита диссертации состоится «17» января 2024 г. в 13:00 на заседании диссертационного совета 24.1.013.01 при НИЦ «Курчатовский институт — ВНИИРАЭ» по адресу: 249035 Россия, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, д.1, к.1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте НИЦ «Курчатовский институт — ВНИИРАЭ»: <https://ds.rira.ru/>

Автореферат разослан _____

Ученый секретарь
диссертационного совета



к.б.н. Бондаренко Е. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации среди приоритетов выделен переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, включая разработку технологий хранения и переработки продукции для создания безопасных и качественных продуктов питания. Овощная продукция является одним из важных компонентов рациона питания населения. Развитие новых инновационных технологий связано с необходимостью снижения потерь продукции в цепочке «от поля до прилавка»; потребностью в увеличении сроков годности в связи с глобализацией рынка поставок; снижением негативного воздействия применения при хранении химических токсикантов. Одним из перспективных направлений является развитие технологий с применением физических факторов воздействия, в частности, ионизирующего излучения.

Научной основой применения ионизирующего излучения в технологиях хранения овощной продукции является исследование механизмов и закономерностей его ингибирующего действия на процесс прорастания. На эффективность радиационной обработки влияют видовые и сортовые характеристики, физиологические и биохимические показатели, условия хранения продукции, а также параметры и режимы облучения, что определяет актуальность проведения широкого спектра фундаментальных и прикладных исследований для практического внедрения новых инновационных технологий для обеспечения продовольственной безопасности страны.

Степень разработанности темы. Возможность применения ионизирующего излучения для обработки пищевых продуктов была выявлена в первой четверти XIX века (Прескотт, 1904; Эпплби, Бэнкс, 1906). В 1950-1970 гг. во многих странах были реализованы национальные программы исследований по применению ионизирующего излучения. В СССР в 1958 г. впервые в мире было выдано официальное разрешение на облучение картофеля для подавления прорастания, а в 1967 году – репчатого лука (Метлицкий, 1967; Рогачев, 1968). Получены общие представления о молекулярно-клеточных механизмах действия ионизирующих излучений (Рубин, 1958). В различных странах проведены исследования по продлению

сроков хранения после облучения, в частности, картофеля (Hendel, Burr, 1961; Baraldi с соавт., 1971; Joshi с соавт., 1990), лука (Curzio, Croci, 1983), чеснока (El-Oksh с соавт., 1971; Croci с соавт., 1990). В 1997 году Международной консультативной группой по облучению пищевых продуктов (ICGFI) на основании анализа имеющихся результатов установлены верхние пороговые значения доз для различных классов сельскохозяйственной продукции (ICGFI Document No. 15). В настоящее время, благодаря новым техническим средствам, возобновились исследования по обработке овощной продукции ионизирующим излучением (Ezekiel, 2008; Лой, 2018; Цыгвинцев, 2018; Miladi с соавт., 2020; Мальцев, 2022).

Цель диссертационной работы: исследование механизмов биологического действия ионизирующего излучения, вызывающего ингибирование прорастания овощной продукции клубнеплодных и луковичных культур, и определение оптимальных условий облучения для обеспечения ее сохранности и качества в зависимости от дозы облучения, условий хранения, видовых и сортовых особенностей.

Задачи исследования:

1. Определить оптимальные диапазоны доз ионизирующего излучения, обеспечивающие подавление прорастания овощной продукции клубнеплодных и луковичных культур.

2. Оценить влияние радиационной обработки на сохранность облученной овощной продукции в зависимости от температуры хранения, сортовых особенностей, условий выращивания и интервала времени между уборкой урожая и облучением.

3. Исследовать влияние радиационной обработки, применяемой для ингибирования процессов прорастания, на морфофизиологические и биохимические показатели качества овощной продукции.

4. Изучить влияние ионизирующего излучения на изменение баланса основных классов фитогормонов в облученной овощной продукции.

5. Разработать технологические регламенты применения гамма-облучения картофеля, репчатого лука и чеснока для подавления прорастания и продления сроков хранения продукции.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в выявлении механизмов биологического действия ионизирующих

излучений, вызывающих ингибирование прорастания овощных культур (клубнеплодов и луковичных), и закономерностей изменения физиологических процессов, происходящих в запасающих органах растений при длительном хранении. Получены приоритетные данные о влиянии облучения на морфофизиологические и биохимические показатели качества овощной продукции клубнеплодных и луковичных культур в зависимости от дозы облучения, температуры хранения, условий выращивания, сортовых особенностей и интервала времени между сбором урожая и облучением. Показано, что при радиационной обработке клубней картофеля для ингибирования прорастания соотношение эндогенных гормонов антагонистов в почках снижается с течением времени хранения пропорционально увеличению дозы γ -излучения.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость работы заключается в развитии научных основ применения ионизирующего излучения в технологиях хранения овощной продукции. Исследованы закономерности действия ионизирующего излучения на изменение физиологических процессов и биохимические показатели качества облученной продукции. Установлены дозовые зависимости и определены оптимальные дозы гамма-облучения, обеспечивающие подавление прорастания клубнеплодных и луковичных культур при хранении. Практическая значимость работы заключается в определении оптимальных условий и режимов облучения овощных культур с целью обеспечения их сохранности и качества в зависимости от дозы облучения, условий хранения, сорта, технологии выращивания и интервала времени между уборкой урожая и облучением. Разработаны технологические регламенты гамма-облучения для предотвращения прорастания, обеспечения качества и продления сроков хранения клубнеплодов (картофель) и луковичных культур (лук, чеснок). Результаты диссертационной работы были использованы ООО «Региональный центр облучательных технологий «Эра» для разработки технологического регламента облучения опытных и коммерческих партий овощной продукции.

Предмет и объект исследования. Объектом исследования были выбраны виды овощей, представленные на отечественном рынке сельскохозяйственной продукции – картофель, репчатый лук и чеснок,

которые являются важными пищевыми культурами и хорошо изученными биологическими объектами. Предметом исследования являлись закономерности действия ионизирующего излучения, вызывающего ингибирование прорастания овощной продукции клубнеплодных и луковичных культур при хранении, в зависимости от вида продукции, условий хранения и режима облучения.

Методология и методы диссертационного исследования. В работе применен комплексный подход к изучению механизмов и закономерностей биологического действия ионизирующего излучения на процесс подавления прорастания овощной продукции при хранении, включающий как оценку параметров облучения, так и изучение физиологических процессов и биохимических показателей качества облученной продукции. Радиационная обработка овощной продукции γ -излучением проводилась в НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ (Калужская область, г. Обнинск) на УНУ «Гамма-установка радиационного облучения ГУР-120» (регистрационный номер 2795259). Аналитические определения биохимических показателей качества продукции проводили по ГОСТам (ГОСТ 33977–2016; ГОСТ 34151–2017, ГОСТ 8756.13-87). Содержание нитратов – по методическим указаниям МУ5048-89. Анализ содержания фитогормонов в почках картофеля проводили методом ВЭЖХ.

Достоверность результатов обеспечивается большим объемом экспериментальных данных; использованием современной аппаратурно-методической базы; определением широко спектра контролируемых параметров и применением аттестованных методов их определения; статистическим анализом экспериментальных данных с использованием современных программных средств (Microsoft Excel 2019 и StatSoft Statistica 10.0.).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. В диссертации представлены результаты изучения биологического действия ионизирующего излучения на процессы прорастания овощной продукции, а также на ее сохранность и качество при хранении, что соответствует пунктам 2 и 14 паспорта специальности 1.5.1 «Радиобиология», включающим исследования закономерностей биологического ответа на воздействие ионизирующих излучений и разработку эффективных средств и

способов управления радиобиологическими эффектами (п. 2), исследования действия ионизирующего излучения на сельскохозяйственные объекты (микроорганизмы, насекомые вредители, возбудители болезней, растения, животные) (п.14).

Положения, выносимые на защиту:

1. Применение γ -излучения в диапазоне доз от 100 до 250 Гр на клубни картофеля, луковицы репчатого лука и чеснока приводит к полному подавлению прорастания и достоверному снижению связанных с ним потерь при хранении независимо от сорта, температуры хранения и интервала времени между уборкой урожая и облучением. Облучение в дозе 50 Гр обеспечивает снижение потерь массы клубней и луковиц при хранении, однако не приводит к полному подавлению прорастания.

2. Обработка клубней γ -излучением приводит к изменению баланса эндогенных гормонов, контролирующих процессы покоя и прорастания картофеля. Соотношение гормонов антагонистов в почках и прилегающих к ним тканях снижается при хранении пропорционально увеличению дозы облучения.

3. Воздействие γ -излучения в диапазоне доз от 50 до 250 Гр на клубни картофеля, луковицы репчатого лука и чеснока не вызывает ухудшения биохимических показателей качества при хранении независимо от сорта, температуры хранения и интервала времени между уборкой урожая и облучением.

4. При облучении в диапазоне доз от 50 до 150 Гр условия возделывания картофеля могут не оказывать влияния на эффективность радиационной обработки в целях ингибирования прорастания.

5. Разработаны технологические регламенты гамма-облучения для предотвращения прорастания, обеспечения качества и продления сроков хранения клубнеплодов (картофель) и луковичных культур (репчатый лук, чеснок).

Апробация работы. Результаты исследований были представлены на 9 международных, всероссийских и региональных конференциях, в том числе: на II Международной (XV Региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск-2018» (Обнинск, 2018); Международной научно-практической конференции «Радиационные технологии в сельском хозяйстве и

пищевой промышленности: состояние и перспективы» (Обнинск, 2018); Международной молодежной конференции «Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и агроэкологии» (Обнинск, 2019); 15-ой и 16-ой Международных научно-практических конференциях «Будущее атомной энергетики – AtomFuture (Обнинск, 2019, 2020); Международной научно-практической конференции «Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве» (Обнинск, 2020); IV Международной (XVII Региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск» (Обнинск, 2021); VII Международной научно-практической конференции «Продукты питания: химия, реология, технологии» (CFSCRT2021) (Москва, 2021); IAEA Second International Conference on Applications of Radiation Science and Technology (ICARST-2022) (Австрия, 2022).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта 19-316-90012.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в постановке целей и задач, анализе литературных данных, планировании и проведении экспериментов, статистической обработке данных и интерпретации результатов, подготовке докладов на научных конференциях и публикаций в рецензируемых научных журналах.

Публикации. Полнота изложения материалов настоящей работы обеспечена публикацией 14 работ, 3 статьи из общего списка научных работ опубликованы в рецензируемых научных журналах, относящихся к перечню ВАК, а также индексируемых Scopus.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, выводов и списка используемых источников. Работа изложена на 243 с., содержит 207 рисунков, 71 таблицу и 3 приложения. Список литературы включает в себя 210 источников, из них 148 на иностранном языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель и задачи, научная новизна и практическая значимость исследования.

Глава 1. Обзор литературы

В главе представлены результаты исследований влияния ионизирующих излучений на сохранность и качество овощной продукции после обработки с целью подавления процессов прорастания и продления сроков хранения. Анализ опубликованных данных демонстрирует высокую эффективность применения и перспективность развития радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности.

Глава 2. Материалы и методы исследования

Для проведения экспериментальных работ были выбраны клубнеплодные и луковичные культуры, качество которых может ухудшаться в результате прорастания в процессе хранения. Была выбрана овощные культуры различающиеся по срокам созревания, видовым и сортовым характеристикам. В исследовании использовалось 12 сортов картофеля, 2 сорта репчатого лука и один сорт чеснока. Для изучения условий выращивания на эффективность радиационной обработки использовался раннеспелый сорт картофеля леди Клэр, выращенный на радиоактивно-загрязненных территориях Брянской области с применением различных агромериторантов. Образцы продукции были отсортированы по размеру и форме. Для исследований отбирались только здоровые клубни и луковицы. В экспериментах с картофелем выдерживался период регенерации клубней после уборки урожая, который составлял не менее двух недель хранения.

Образцы продукции раскладывались в контейнеры размерами 585×385×140 мм, в которых хранились во время и после облучения. Обработка γ -излучением проводилась в НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ (Калужская область, г. Обнинск) на УНУ «Гамма-установка радиационного облучения ГУР-120» (регистрационный номер 2795259). Средняя мощность дозы γ -излучения составляла 58,1 Гр/ч. Обработку продукции γ -излучением проводили с таким расчётом, чтобы обеспечить поглощённые дозы 50, 100, 150 и 250 Гр. С этой целью продукцию выдерживали в зоне облучения в течение: 50 мин, 1 ч 40 мин, 2 ч 30 мин и 4 ч 10 мин, соответственно. Значения накопленных поглощённых доз обработанной продукции составили 50±4,9 Гр;

100±9,8 Гр; 150±14,7 Гр; 250±24,5 Гр. Ионизационная камера БМК-50 дозиметра универсального ДКС-101 укладывалась в центр среднего ящика на расстояние 85 см от блока-облучателя.

Облученные и необлученные (контрольные) партии продукции хранились при различной температуре хранения: картофель хранился при +6...+8 °С и при +18...+22 °С, репчатый лук и чеснок – при 0... –1 °С и +18...+22 °С.

Эффективность радиационной обработки оценивалась по изменению морфофизиологических и биохимических показателей качества продукции при сравнении с необлученным контролем. Морфофизиологические показатели включали определение потери массы клубней и луковиц каждые 1-2 месяца хранения. Сенсорная оценка включала определение внешнего вида клубней и луковиц, факта наличия ростков на поверхности. Клубни и луковицы оценивали как проросшие при наличии ростков длиной более 3 мм.

Качественный и количественный анализ фитогормонов проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Оценка биохимических показателей облученной продукции включала анализ содержания нитратов, крахмала и сухого вещества, редуцирующих сахаров, витамина С по действующим методикам Государственной системы обеспечения единства измерений (ГОСТ).

Глава 3. Применение гамма-излучения в технологиях хранения для ингибирования прорастания и сохранения качества овощной продукции

Анализ факторов, определяющих сохранность и качество овощной продукции при хранении

В целях корректной оценки эффективности радиационной обработки против прорастания был проведен предварительный анализ факторов, определяющих лежкость необлученной овощной продукции при хранении. Анализ показал, что лежкость картофеля, репчатого лука и чеснока зависит от сортовых особенностей, физиологического состояния клубней и луковиц, условий выращивания, правильности обращения в уборочный и послеуборочный период при хранении, от продолжительности периода покоя, наличия повреждений и поражения болезнями. В свою очередь, начало прорастания зависит от тех же

факторов, что влияют на лежкость продукции, и среди них фактор продолжительности периода покоя является определяющим. Интенсивность процесса прорастания определяется условиями хранения и, в первую очередь, температурой. Согласно Государственной системой обеспечения единства измерений оптимальная температура хранения продовольственного картофеля находится в диапазоне от 3 до 6 °С, сырья для производства чипсов – от 7 до 10 °С. Предполагаемый срок хранения составляет 6 месяцев при естественном охлаждении и 8 месяцев при хранении с искусственным охлаждением. Сроки и диапазоны температуры хранения репчатого лука и чеснока не нормируются, однако практика показывает, что для репчатого лука и чеснока подходят два способа хранения – холодный при температуре от -3 до 0 °С для репчатого лука и при температуре от 0 до +1 °С для чеснока, и теплый – при температуре +18...+22 °С для репчатого лука и чеснока.

Результаты исследования, показали, что качество контрольных (необлученных) образцов всех видов овощной продукции ухудшалось в процессе хранения. Клубни картофеля, луковицы репчатого лука и чеснока проросли и утратили товарный вид. Проросшие луковицы репчатого лука сорта Ростовский на 6 месяце хранения при температуре +6...+8 °С загнили. На величину общих потерь достоверное влияние оказывала температура хранения – чем выше была температура, тем больше были потери продукции при хранении (Таблица 1).

Таблица 1 – Потери необлученной продукции при хранении

Вид продукции	Начало прорастания	t°, С	Убыль массы, %	Ростки, %	Всего, %
Картофель					
Раннеспелые сорта					
Ароза	4 мес.	6–8	23,7	21,5	45,2
Лабелла		6–8	22,4	19,1	41,5
Леди Клэр	4 мес.	6–8	8,5	1,6	10,1
	3 мес.	18–22	28,3	7,1	35,4
Лилли	4 мес.	6–8	31,4	19,2	50,6
Невский		6–8	39,6	17,9	57,5

Продолжение таблицы

		18–22	62,6	5,8	68,4
Ред Леди		6–8	31,3	18,7	50,0
Ред Скарлетт		6–8	26,1	12,6	38,7
Уладар		6–8	28,8	17,6	46,4
Среднеспелые сорта					
Вектор	4 мес.	6–8	24,5	23,3	47,8
Колобок		6–8	40,9	19,2	60,1
Фаворит		6–8	29,3	16,2	45,5
		18–22	61,1	4,7	65,8
Позднеспелые сорта					
Журавинка	4 мес.	6–8	22,6	16,2	38,8
Репчатый лук и чеснок					
Ростовский	4 мес.	6–8	–	–	59,3
		18–22	–	–	66,1
Черный принц		6–8	–	–	68,8
		18–22	–	–	69,5
Чеснок	6 мес.	6–8	–	–	17,2
	4 мес.	18–22	–	–	22,1

Независимо от температуры хранения и сорта необлученные клубни картофеля постепенно утрачивали тургор, кожица клубней становилась сморщенной ввиду потери влаги, связанной с процессом дыхания и обильного образования ростков. По тем же причинам луковицы репчатого лука и чеснока становились рыхлыми и мягкими, менялся их цвет и запах, чешуи рубашки отслаивались.

Влияние гамма-облучения, технологий возделывания, температуры хранения, сортовых различий и интервала времени между уборкой урожая и облучением на морфофизиологические показатели качества овощной продукции

Результаты оценки морфофизиологических показателей облученной продукции показали высокую эффективность применения ионизирующего излучения для подавления прорастания при хранении. Независимо от сорта, температуры хранения и интервала времени между уборкой урожая и облучением обработка клубней картофеля,

луковиц репчатого лука и чеснока γ -излучением в диапазоне доз от 100 до 250 Гр полностью ингибировала образование ростков. Клубни картофеля не прорастали в течение всего срока хранения, который составил в зависимости от продолжительности экспериментов от 6 до 10 месяцев. Репчатый лук и чеснок, облученные в том же диапазоне доз также не прорастали на протяжении всего срока хранения, который составил 7 месяцев (Рисунок 1).

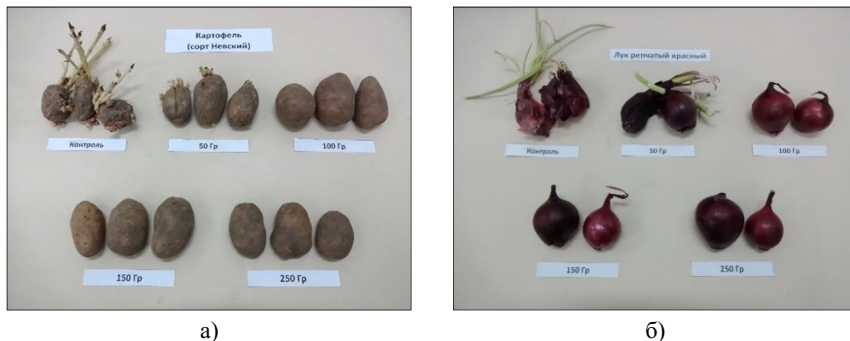


Рисунок 1 – Внешний вид контрольного и облученного картофеля (а) и репчатого лука (б) после 7 месяцев хранения при +18...+22 °С

Влияние дозы облучения. Установлено достоверное влияние дозы облучения на величину потери массы клубней картофеля и луковиц репчатого лука и чеснока при хранении: с увеличением времени хранения происходит потеря массы, а с возрастанием дозы гамма-излучения интенсивность потери массы по сравнению с необлученным контролем снижается. В диапазоне доз от 100 до 250 Гр различия между вариантами были недостоверными вне зависимости от температуры хранения, сорта и интервала времени между уборкой урожая и облучением, что свидетельствует о том, что для эффективной радиационной обработки доза в 100 Гр является достаточной. Результаты дисперсионного анализа по влиянию дозы облучения клубней картофеля и луковиц репчатого лука на изменение их массы при хранении представлены на Рисунок 2.

Влияние технологий возделывания картофеля на изменение массы клубней после облучении с целью подавления прорастания не

было достоверным. Во всех вариантах опыта с облучением потери массы клубней были достоверно ниже, чем в контроле независимо от того, применялись агромелиоранты при выращивании или нет. При сравнении выборок по видам агромелиорантов между собой достоверных различий не обнаружено (Рисунок 3).

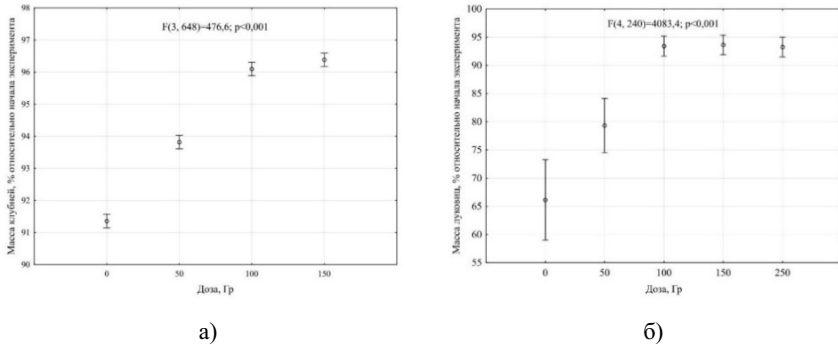


Рисунок 2 – Влияние дозы облучения на изменение массы клубни картофеля (а) и луковец репчатого лука (б) при хранении

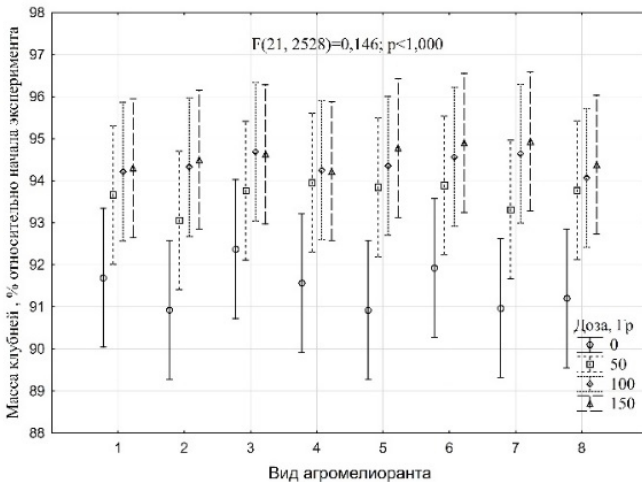


Рисунок 3 – Совместное влияние агромелиорантов и дозы гамма-излучения на изменение массы клубней картофеля

Фактор температуры хранения оказал достоверное влияние на эффективность радиационной обработки клубней картофеля – во всех вариантах опыта с облучением картофель лучше сохранился при температуре +6...+8 °С, чем при +18...+22 °С. Репчатый лук, облученный в дозе 50 Гр пророс на 6 месяц хранения как при 0... –1 °С, так и при +18...+22 °С, однако по показателю потери массы после 7 месяцев хранения сохранился лучше при 0... –1 °С, чем при +18...+22 °С. При облучении в дозах 100, 150 и 250 Гр, луковицы не проросли, и достоверных различий между режимами хранения обнаружено не было (Рисунок 4).

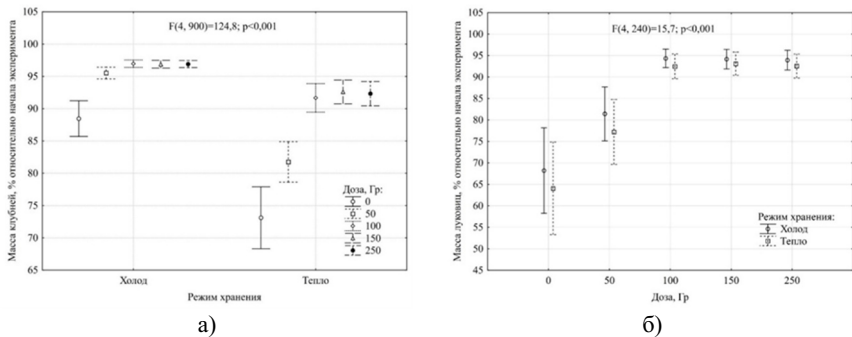


Рисунок 4 – Совместное влияние температуры хранения и дозы облучения на изменение массы клубней картофеля (а) и луковиц репчатого лука (б)

Чеснок, облученный в дозе 50 Гр, не пророс в течение 7 месяцев хранения при 0...–1 °С, но пророс на 6 месяц хранения при +18...+22 °С. При сравнении двух режимов хранения по показателю потери массы при облучении получены достоверные различия. В вариантах опыта с облучением в дозах 100, 150 и 250 Гр луковицы чеснока не проросли в течение 7 месяцев, достоверных различий при сравнении обоих режимов хранения также обнаружено не было.

Сортовые различия не оказали достоверного влияния на эффективность радиационной обработки картофеля, репчатого лука и чеснока при облучении в диапазоне доз от 100 до 250 Гр. При облучении в дозе 50 Гр наблюдались различия по срокам начала

прорастания при сравнении с необлученным контролем, в котором эти сроки совпадали.

Интервал времени между уборкой урожая и облучением не повлиял на эффективность радиационной обработки картофеля с целью подавления прорастания. Облучение в диапазоне доз от 100 до 250 Гр спустя 3 месяца после уборки урожая полностью подавляло прорастание на срок до 10 месяцев. Кроме того, облучение даже на 5-м месяце хранения, когда период покоя клубней завершился, и они проросли, позволяло замедлить ростовые процессы и снизить потерю массы клубней при хранении.

Оценка влияния различных факторов на изменение массы клубней и луковиц показала, что наибольшее влияние на сохранность как облученной, так и необлученной продукции оказывает время хранения. Сила влияния данного фактора в экспериментах составляла от 40 до 70%. Второе место по силе влияния занимает фактор дозы облучения – сила влияния варьировала в зависимости от эксперимента от 2,7% до 31%. Влияние фактора времени хранения и дозы облучения на изменение массы продукции при хранении во всех проведенных экспериментах было достоверным. Пример результатов многофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий хранения, сортовых различий, дозы облучения и времени хранения, а также их сочетаний на изменение массы луковиц репчатого лука представлен в Таблица 2.

Таблица 2 – Результаты дисперсионного анализа по влиянию условий хранения, сортовых особенностей, дозы облучения и времени, а также их сочетаний на изменение массы луковиц репчатого лука

Влияние отдельных факторов и их сочетаний	d.f	SS	MS	F	Уровень значимости	Сила влияния фактора, %
Время хранения	3	53690	17897	7595,6	<0,001	43,75
Доза облучения	4	38485	9621	4083,4	<0,001	31,36
Сорт	1	538	538	228,3	<0,001	0,44
Температура	1	514	514	218,2	<0,001	0,42
Доза+Время	12	26406	2200	933,9	<0,001	21,52

Продолжение таблицы

Сорт+Время	3	536	179	75,8	<0,001	0,44
Сорт+Доза	4	471	118	50,0	<0,001	0,38
Температура+Время	3	256	85	36,3	<0,001	0,21
Температура+Доза	4	148	37	15,7	<0,001	0,12
Температура+Сорт	1	35	35	15,0	<0,001	0,03
Температура+ +Доза+Время	12	255	21	9,0	<0,001	0,21
Температура+ +Сорт+Доза	4	54	13	5,7	<0,001	0,04
Температура+ +Сорт+Время	3	31	10	4,4	0,005	0,03
Сорт+Доза+Время	12	646	54	22,9	<0,001	0,53
Температура+ +Сорт+Доза+Время	12	84	7	3,0	0,001	0,07
Ошибка	240	565	2			
Всего	319	122714				

Влияние γ -облучения на изменение содержания гормонов

После радиационной обработки картофеля в почках и прилежащих к ним тканях достоверно выросло содержание абсцизовой кислоты (АБК), препятствующей прорастанию (Рисунок 5). Содержание зеатина снизилось при облучении в дозе 100 и 150 Гр, разница с контролем доходила до 7 и 11 раз, соответственно. Снижение концентрации цитокининов свидетельствует об ингибировании деления клеток, необходимого для прорастания. Уровни индолилукусной кислоты (ИУК) так же были снижены в облученных выборках, однако достоверно лишь при облучении в дозе 150 Гр. Содержание индолилмасляной кислоты оказалось наибольшим в образцах, облученных в дозе 100 Гр. Соотношение эндогенных гормонов антагонистов в почках и прилежащих к ним тканях облученных клубней картофеля снижалось при хранении пропорционально увеличению дозы γ -излучения. При облучении в дозе 150 Гр значения соотношения снизились в 40 раз. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при обработке клубней картофеля γ -излучением происходит изменение баланса основных классов фитогормонов, контролирующих процессы покоя и прорастания.

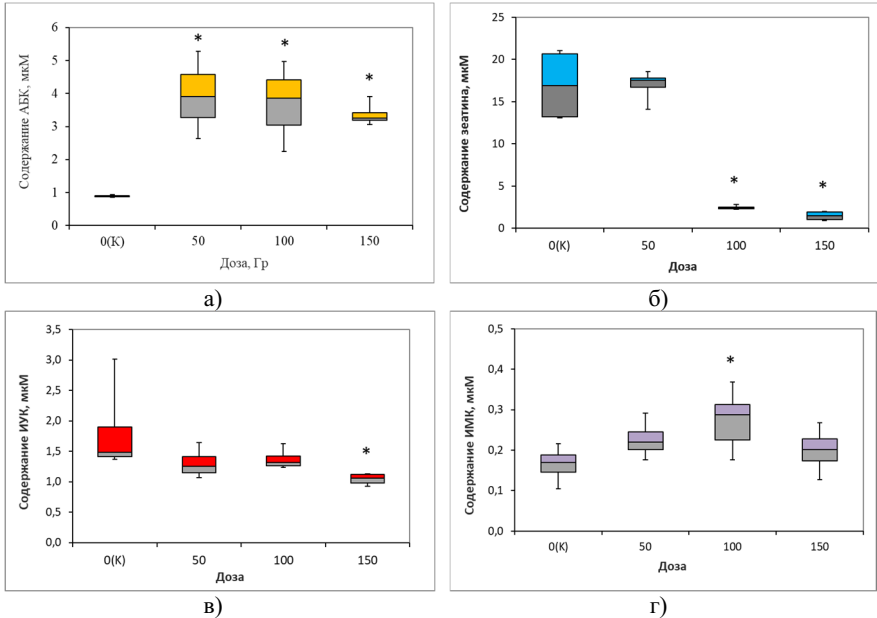


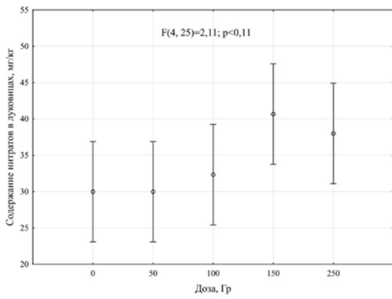
Рисунок 5 – Содержание фитогормонов в картофеле сорта Фаворит: а) АБК б) зетин в) ИУК г) ИМК;

* – статистически значимое ($p < 0,05$) отличие от контроля

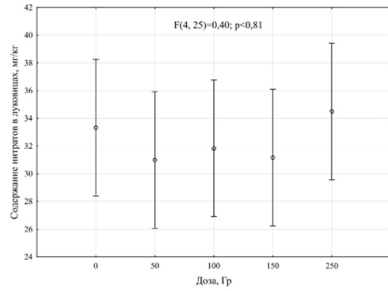
Влияние гамма-облучения на изменение биохимических показателей качества овощной продукции

Обработка овощной продукции γ -излучением в диапазоне доз от 50 до 250 Гр не вызвала ухудшения биохимических показателей ее качества при хранении независимо от сорта, температуры хранения и интервала времени между уборкой урожая и облучением.

Содержание нитратов в облученном картофеле находилось на уровне контрольных значений и не превышало установленного норматива (250 мг/кг). Содержание нитратов в чесноке и репчатом луке сорта Ростовский при облучении в дозах 150 и 250 Гр превысило контрольные значения, однако различия с контролем не были достоверными (Рисунок 6).



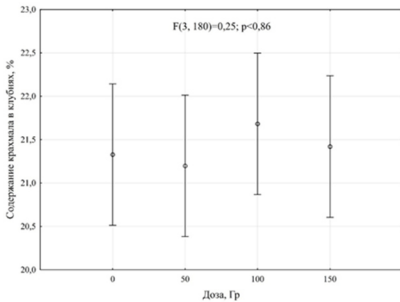
а)



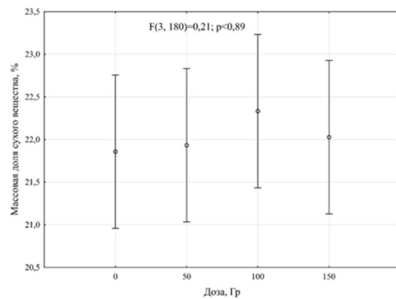
б)

Рисунок 6 – Влияние дозы γ -излучения на содержание нитратов в репчатом луке: сортов Ростовский (а) и Черный принц (б)

Радиационная обработка в диапазоне доз от 50 до 250 Гр не оказала достоверного влияния на содержание крахмала и сухого вещества в клубнях картофеля (Рисунок 7).



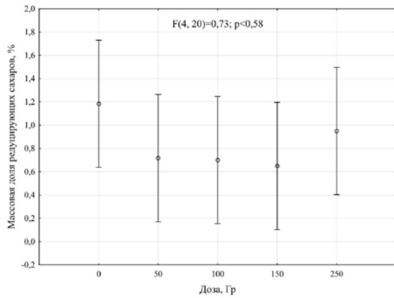
а)



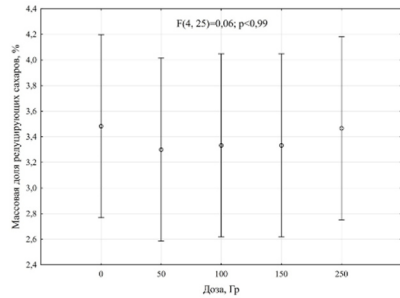
б)

Рисунок 7 – Влияние дозы облучения на содержание крахмала (а) и сухого вещества (б) в клубнях картофеля

Радиационная обработка в диапазоне доз от 50 до 250 Гр не оказала достоверного влияния на содержание редуцирующих сахаров в картофеле, репчатом луке и чесноке (Рисунок 8).



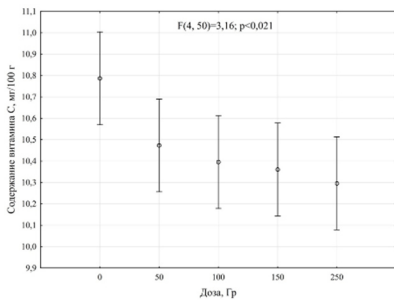
а)



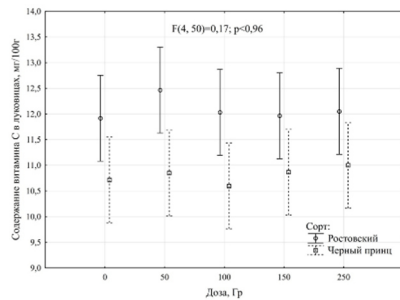
б)

Рисунок 8 – Влиянию дозы облучения на содержание редуцирующих сахаров в картофеле (а) и репчатом луке (б)

С увеличением дозы облучения наблюдалось снижение содержания витамина С в картофеле, однако различия с контролем не были достоверными (Рисунок 9).



а)



б)

Рисунок 9 – Влияние дозы облучения на содержание витамина С в клубнях картофеля (а) и луковицах репчатого лука (б)

Результаты исследования показали высокую эффективность применения γ -излучения в целях ингибирования прорастания и продления сроков хранения овощной продукции. Оптимальный диапазон доз облучения обеспечивает сохранение морфологических и биохимических показателей качества с учетом вида продукции и условий хранения. Полученные результаты являются основанием для

разработки технологических регламентов и режимов облучения различных видов овощной продукции.

Глава 4. Технологические регламенты применения γ -излучения в технологиях хранения картофеля, репчатого лука и чеснока

В главе представлены результаты анализа нормативно-правовой документации по условиям применения ионизирующего излучения для обработки овощной продукции с целью ингибирования прорастания. Сделаны предложения по совершенствованию нормативной базы Российской Федерации. Разработаны технологические регламенты применения радиационной обработки картофеля, репчатого лука и чеснока для подавления прорастания и продления сроков хранения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования позволяют сделать вывод об эффективности применения γ -излучения в целях ингибирования прорастания и продления сроков хранения овощной продукции. Определен оптимальный диапазон доз γ -облучения для ингибирования процесса прорастания картофеля и луковичных культур. Показано, что радиационная обработка приводит к достоверному снижению потерь продукции и продлению сроков ее хранения. Установлено, что при хранении после обработки картофеля γ -излучением происходит изменение баланса основных классов фитогормонов в почках клубней и прилегающих тканях. Соотношение гормонов антагонистов снижается пропорционально увеличению дозы γ -излучения. Полученные данные показывают, что при применении оптимальных режимов облучения сохраняются морфофизиологические и биохимические показатели качества овощной продукции в процессе хранения. Обоснована необходимость совершенствования нормативной базы применения радиационной обработки овощной продукции. Разработаны технологические регламенты применения радиационной обработки картофеля, чеснока и репчатого лука для ингибирования процесса прорастания и продления сроков хранения.

ВЫВОДЫ

1. Воздействие γ -излучения в диапазоне доз от 100 до 250 Гр на клубни картофеля, луковицы репчатого лука и чеснока обеспечивает полное подавление прорастания и достоверное снижение связанных с ним потерь при хранении независимо от сорта, температуры хранения и интервала времени между уборкой урожая и облучением. Облучение в дозе 50 Гр обеспечивает снижение потерь массы клубней и луковиц при хранении, однако не приводит к полному подавлению прорастания. При этом сроки начала прорастания зависели от сортовых различий.

2. Температура хранения оказала достоверное влияние на эффективность радиационной обработки картофеля – при облучении в диапазоне доз от 100 до 250 Гр клубни лучше сохранялись при температуре +6...+8 °С, чем при +18...+22 °С. При облучении лука и чеснока в дозе 50 Гр аналогичная зависимость сохранялась, а при облучении в дозах от 100 до 250 Гр температура хранения достоверного влияния на сохранность не оказывала.

3. Воздействие γ -излучения в диапазоне доз от 50 до 250 Гр не вызвало ухудшения биохимических показателей качества овощной продукции при хранении независимо от сорта, температуры хранения и интервала времени между уборкой урожая и облучением. Оценка эффективности радиационной обработки на основании морфофизиологических и биохимических показателей качества показала, что срок хранения облученного картофеля был продлен на 7 месяцев, репчатого лука и чеснока – на 4 месяца.

4. Баланс эндогенных гормонов, контролирующих процессы покоя и прорастания картофеля, меняется после обработки клубней γ -излучением в дозах 100 и 150 Гр. Соотношение гормонов антагонистов в почках и прилегающих к ним тканях снижается при хранении пропорционально увеличению дозы гамма-излучения. При облучении в дозе 150 Гр значения соотношения снизились в 40 раз.

5. Технология возделывания картофеля с применением различных агроメリорантов, обеспечивающих оптимальное содержание элементов минерального питания в почве, не повлияла на эффективность радиационной обработки картофеля в дозах 50, 100 и 150 Гр с целью подавления прорастания клубней при хранении.

6. Разработаны технологические регламенты применения гамма-облучения картофеля, репчатого лука и чеснока для подавления прорастания и продления сроков хранения продукции.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах, рекомендованных ВАК, и международных изданиях, входящих в базу Scopus:

1. **Чиж Т.В.**, Козьмин Г.В., Полякова Л.П., Мельникова Т.В. Радиационная обработка как технологический прием в целях повышения уровня продовольственной безопасности // Вестник Российской академии наук. 2011. № 4. С. 44–49 (ВАК).

2. Павлов А.Н., **Чиж Т.В.**, Снегирев А.С., Санжарова Н.И., Черняев А.П., Борщеговская П.Ю., Ипатов В.С., Дорн Ю.А. Технологический процесс радиационной обработки пищевой продукции и дозиметрическое обеспечение // Радиационная гигиена. 2020. Т.13. № 4. С. 40–50 (ВАК).

3. **Chizh T.V.**, Loy N.N., Pavlov A.N., Poliakova I.V., Dorn Y.A. Influence of gamma radiation treatment of vegetable crops of allium genus on their germination during storage // AIP Conference Proceedings 2478, 050010, 2022. DOI 10.1063/5.0099273 (Scopus).

В научных сборниках и материалах конференций:

4. **Чиж Т.В.**, Лой Н.Н., Губарева О.С., Кузнецов В.К., Урсу Н.В., Гулина С.Н. Влияние гамма-излучения на продолжительность хранения и показатели качества картофеля // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 26-28 сентября 2018 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. С. 238-241.

5. Лой Н.Н., **Чиж Т.В.**, Гулина С.Н. Влияние гамма-облучения на хранение картофеля // Техногенные системы и экологический риск: Тезисы докладов II Международной (XV Региональной) научной конференции / Под общ. ред. А.А. Удаловой. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2018. С. 370-371.

6. Лой Н.Н., Санжарова Н.И., **Чиж Т.В.**, Гулина С.Н. Влияние гамма-облучения на прорастаемость картофеля при хранении // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Севастополь, 2018, С. 706-709.

7. **Чиж Т.В.**, Лой Н.Н. Перспективы применения гамма-облучения в целях увеличения срока хранения клубней картофеля // Материалы XV Международной научно-практической конференции «Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2019. г. Обнинск: 25-26 ноября 2019 г. С. 28-29

8. **Чиж Т.В.**, Лой Н.Н. Влияние гамма-излучения на сохранность клубней картофеля // Международная молодежная конференция "Современные проблемы радиобиологии, радиэкологии и агроэкологии", 3-4 октября 2019 года, г. Обнинск. С. 303-306. <http://conf.rirae.ru>

9. **Чиж Т.В.**, Лой Н.Н., Кобялко В.О., Полякова И.В., Павлов А.Н. Влияние гамма-излучения на содержание редуцирующих сахаров в клубнях картофеля // Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве: сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 16-18 сентября 2020 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2020. С. 374.

10. **Чиж Т.В.**, Лой Н.Н., Полякова И.В. Оценка эффективности радиационной обработки красного репчатого лука с целью ингибирования процессов прорастания и продления сроков хранения // Техногенные системы и экологический риск: Тезисы докладов IV Международной (XVII Региональной) научной конференции / Под общ. ред. А.А. Удаловой. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2021. С. 465-466.

11. **Чиж Т.В.**, Лой Н.Н. Влияние обработки клубней картофеля гамма-излучением на потерю массы и прорастание в процессе хранения // Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2020. г. Обнинск: 23-24 ноября 2020 г. С. 30-31.

ЧИЖ Тарас Васильевич

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СОХРАННОСТЬ И
КАЧЕСТВО ОВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ

Автореф. дисс. на соискание ученой степени кандидата биологических наук.

Типография «_____»