

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.rirae.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).

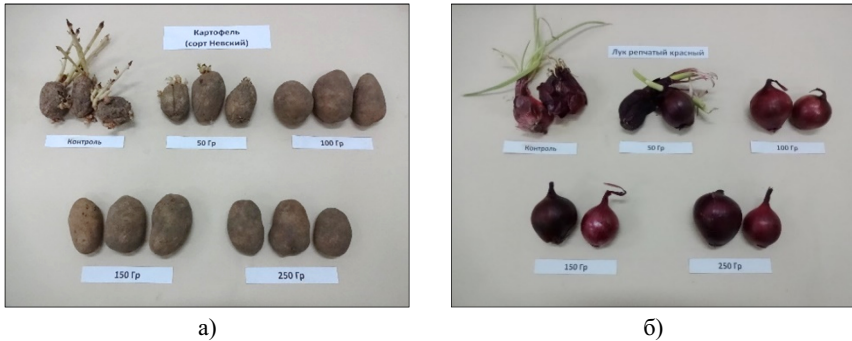


Рисунок 1 – Внешний вид контрольного и облученного картофеля (а) и репчатого лука (б) после 7 месяцев хранения при +18...+22 °С

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).

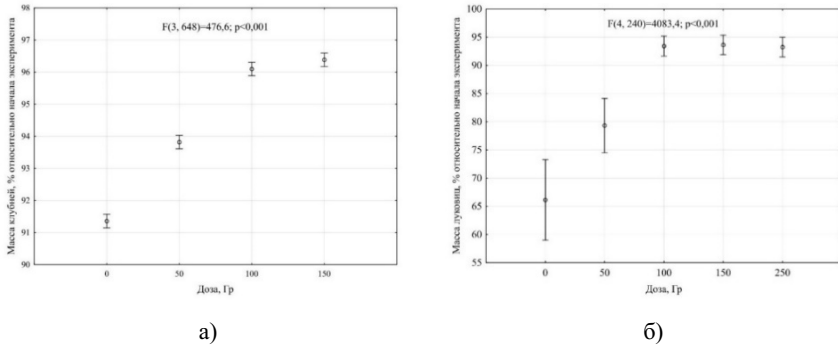


Рисунок 2 – Влияние дозы облучения на изменение массы клубни картофеля (а) и луковец репчатого лука (б) при хранении

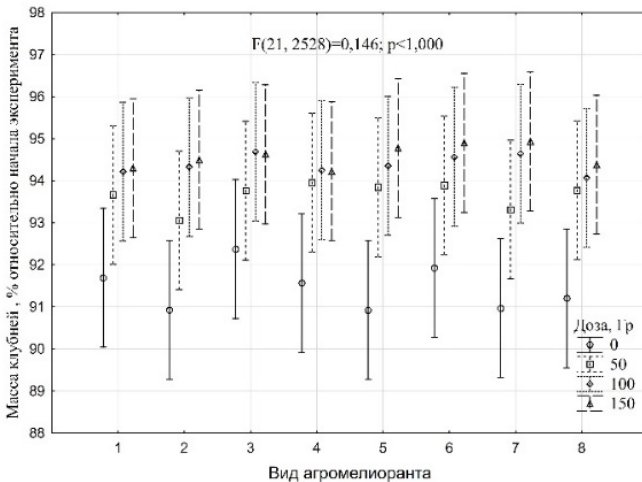


Рисунок 3 – Совместное влияние агромелиорантов и дозы гамма-излучения на изменение массы клубней картофеля

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).

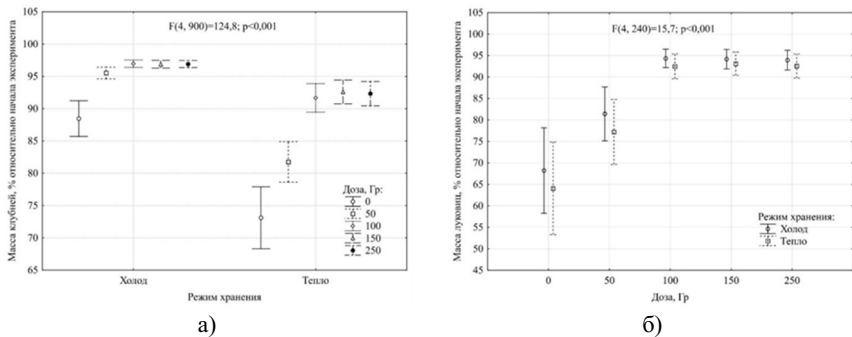


Рисунок 4 – Совместное влияние температуры хранения и дозы облучения на изменение массы клубней картофеля (а) и луковиц репчатого лука (б)

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.

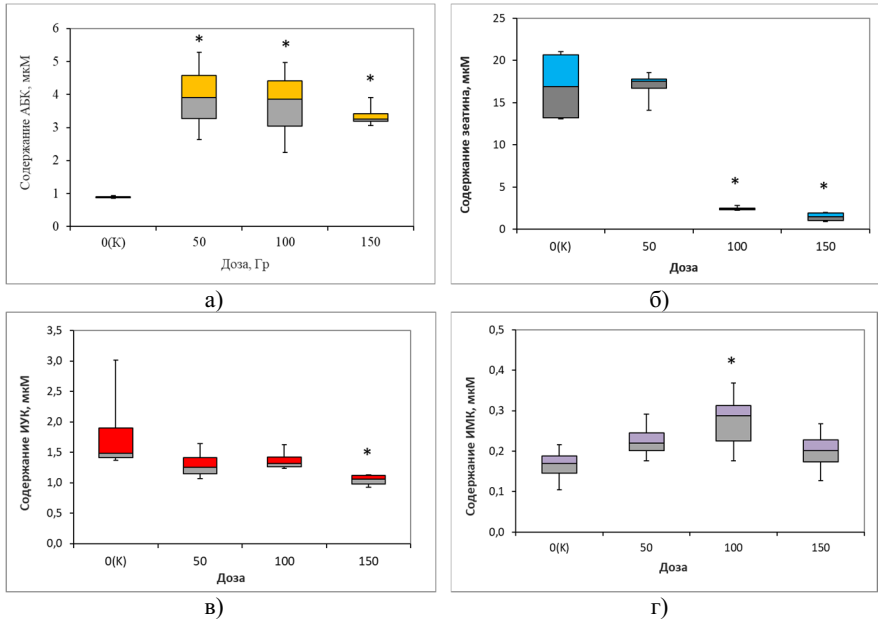


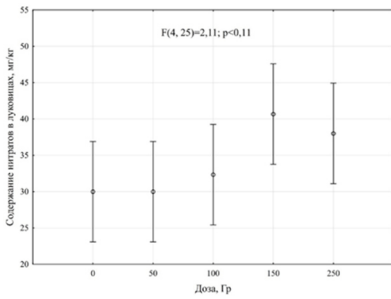
Рисунок 5 – Содержание фитогормонов в картофеле сорта Фаворит:
а) АБК б) зетин в) ИУК г) ИМК;

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

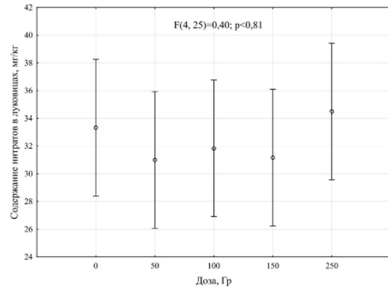
Влияние гамма-облучения на изменение биохимических показателей качества овощной продукции

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).



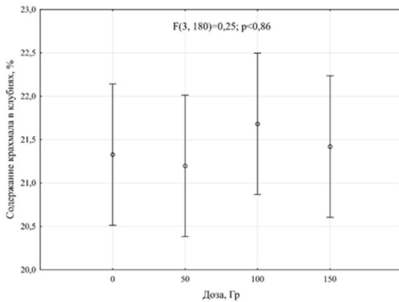
а)



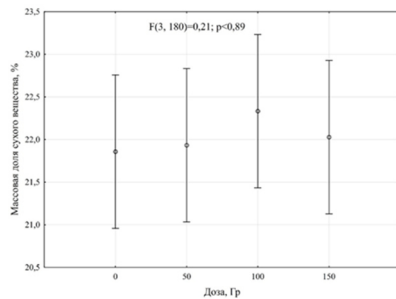
б)

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).



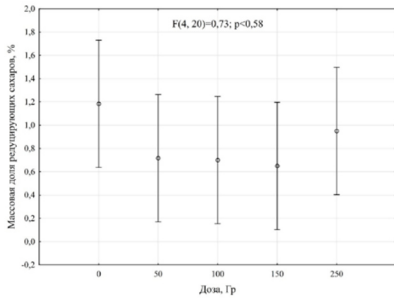
а)



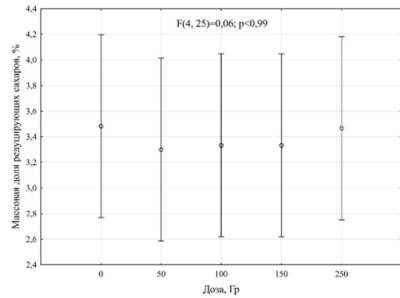
б)

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).



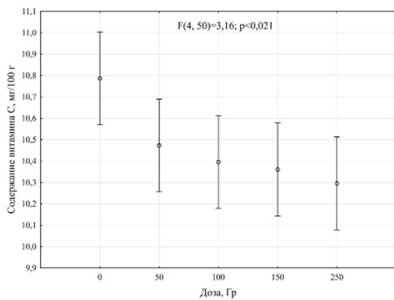
а)



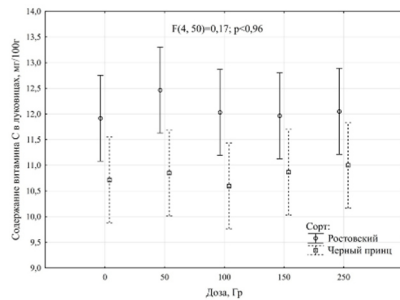
б)

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 «_____»