

РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ
И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ:
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

RADIATION TECHNOLOGIES IN
AGRICULTURE AND FOOD
INDUSTRY: CURRENT STATE
AND PROSPECTS



МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

INTERNATIONAL
RESEARCH AND PRACTICE CONFERENCE

26-28 сентября 2018
г. Обнинск

26-28 September, 2018
Obninsk

Сборник докладов

Conference proceedings

Международная научно-практическая конференция



**Радиационные технологии
в сельском хозяйстве и пищевой промышленности:
состояние и перспективы**

**Radiation Technologies in Agriculture and Food Industry:
Current State and Prospects**

Обнинск, 26-28 сентября 2018 г.

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук

Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы

**Сборник докладов
Международной научно-практической конференции**

(Обнинск, 26-28 сентября 2018 г.)

Обнинск
2018

УДК 621.039.8
ББК 28.070
Р 15

Редакционная коллегия:

Н.И. Санжарова, чл.-корр. РАН, д.б.н., проф. (*науч. ред.*), **О.А. Шубина**, к.б.н. (*отв. ред.*),
Е.В. Гордиенко, **Р.А. Микаилова**, **С.И. Санжарова**, к.б.н.

Р 15 **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. – 356 с.: ил.

ISBN 978-5-903386-53-6

В последние годы активно развиваются технологии с применением физических факторов, в частности, ионизирующего и неионизирующего излучений. Технологии облучения могут быть использованы для повышения урожайности, увеличения сроков хранения продукции, уничтожения патогенной микрофлоры и насекомых-вредителей, сокращения потерь при хранении плодов и овощей, удлинения сроков реализации продуктов, стерилизации рационов для армии и космонавтов и т.п. Применение технологий с использованием физических факторов базируется на междисциплинарных фундаментальных исследованиях на стыке физики, биологии, химии, сельскохозяйственных наук. В сборнике представлены материалы по различным аспектам применения технологий облучения, включая: фундаментальные исследования по изучению действия различных видов излучений на микроорганизмы, возбудителей болезней, насекомых-вредителей, растения, животных; технические средства и установки для радиационной обработки продукции и опыт создания облучательских центров; проблемы нормирования; дозиметрия и радиационная безопасность, аппаратурно-методическое и программное обеспечение; эффективность применения облучения при обработке различных видов сельскохозяйственной и пищевой продукции; безопасность и качество продукции; применение различных физических методов и комбинированных технологий для обработки сельскохозяйственной и пищевой продукции.

Ответственность за соблюдение законов об интеллектуальной собственности, достоверность приведенных сведений несут авторы публикуемых докладов.

Radiation Technologies in Agriculture and Food Industry: Current State and Prospects: Proceedings of the International Research and Practice Conference, Obninsk, September 26–28, 2018. Obninsk: RIRAE, 2018. – 356 p.

In recent years, there exists an active progress of technologies with the application of physical factors, in particular, ionizing and non-ionizing radiation. The irradiation technologies can be used to increase yields, increase the shelf life of products, destroy pathogenic microflora and insect pests, reduce losses during the storing of fruits and vegetables, lengthen the terms for the sale of products, sterilize food rations for the army and cosmonauts, etc. The application of technologies using physical factors is based on interdisciplinary fundamental research at the intersection of physics, biology, chemistry, and agricultural sciences. The book presents the materials on various aspects of the application of irradiation technologies, including: fundamental investigations on the effects of various types of radiation on microorganisms, pathogens, insect pests, plants, animals; technical means and facilities for radiation treatment of products and experience in establishing the irradiation centres; problems of standardisation; dosimetry and radiation safety, instrumentation and software; the effectiveness of irradiation application in the processing of various types of agricultural and food products; safety and quality of products; application of various physical methods and combined technologies for the processing of agricultural and food products.

Authors of published material are responsible for compliance with intellectual property laws and reliability of the information provided.

УДК 621.039.8
ББК 28.070

ISBN 978-5-903386-53-6

© ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018
© Авторы, 2018

MULTI-PURPOSE CENTRES FOR STERILIZATION OF MEDICAL PRODUCTS AND PROCESSING OF FOOD BY IONIZING RADIATION

Belkin D.Yu., Egorkin A.V., Zykin, V.A., Chasovskikh A.V.

«Research Institute of technical physics and automation», Moscow, Russian Federation
e-mail: a.chasovskikh@niitfa.ru

«Research Institute of technical physics and automation» was and remains one of the leading institutes in the country for the development of radiation technologies and equipment for their implementation. Currently, radiation technologies are widely and intensively used for processing food and agricultural products in more than 40 countries around the world. The levels of absorbed doses for the processes of radiation treatment of food and agricultural products are determined and the achieved effects are shown in figures. Industrial gamma-installations are a construction engineering complex consisting of an irradiator, a transport conveyor, an automatic control system, control and interlocks of the installation, etc. Number of industrial gamma-installations, including for processing food products delivered abroad. Delivery of such installations was carried out on the terms of delivery of their «turnkey».

Keywords: radiation technologies, ionizing radiation source, agriculture, electron accelerator, food, sterilization, decontamination, disinfection

DOI: 10.1039

ПРОМЫШЛЕННЫЕ УСКОРИТЕЛИ ИЛУ ДЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Белкин А.А., Безуглов В.В., Воронин Л.А., Коробейников М.В., Максимов С.А., Нехаев В.Е., Раченко В.М., Сидоров А.В., Ткаченко В.О., Факторович Б.Л.

ИИЯФ Институт Ядерной Физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: byuzgin@inp.nsk.su

Институт ядерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН) на протяжении десятилетий является мировым лидером в разработке и изготовлении ускорителей заряженных частиц. С начала 80-х годов XX века ИЯФ разрабатывает, изготавливает и поставляет в промышленные и исследовательские организации различные промышленные высокочастотные ускорители электронов типа ИЛУ. Они широко применяются в промышленности для модификации полимеров и стерилизации одноразовых медицинских изделий. В ближайшем будущем ожидается применение ускорителей ИЛУ для холодной электронной пастеризации пищевых продуктов.

Ключевые слова: ускоритель электронов, электронный пучок, электронно-лучевая обработка

Электронно-лучевая обработка пищевых продуктов: история и перспективы

Еще в 40-е годы в России были начаты исследования влияния радиационной обработки на пищевые продукты. Было показано, что радиационная обработка позволяет уменьшить потери при хранении пищевых продуктов и при умеренных дозах не приводит к изменению их свойств.

Исследования воздействия ионизирующих излучений на промышленные и сельскохозяйственные продукты проводились во всех индустриально развитых странах.

По итогам исследований различных процессов в 60-е годы XX века были установлены типичные

рабочие дозы [1]:

- Предотвращение прорастания семян – 0,1-0,2 кГр;
- Дезинсекция – 0,3-0,5 кГр;
- Подавление развития паразитов – 0,3-0,5 кГр;
- Задержка созревания фруктов – 0,5-1,0 кГр;
- Подавление плесеней – 1,5-3,0 кГр;
- Подавление бактерий – 1,5-3,0 кГр;
- Стерилизация – 15-30 кГр;
- Полимеризация – 25-50 кГр;
- Сополимеризация полимеров (графтинг) – 25-50 кГр;
- Шивка полимерных материалов – 50-250 кГр;

- Деградация полимеров – 500-1500 кгГр.

Процесс электронно-лучевой обработки пищевых продуктов стали называть холодной пастеризацией, поскольку происходит пастеризация продукта, а температура повышается всего на несколько градусов.

В последние десятилетия в России промышленная радиационная обработка пищевых продуктов не производилась, так как действовавшая нормативная база не охватывала процессы радиационной обработки пищевых продуктов. В настоящее время вводятся новые ГОСТы, согласованные с международными стандартами по облучению пищевых продуктов. Это открыло возможности разработки и внедрения новых технологий облучения в сельское хозяйство и пищевую промышленность. Детальное описание ситуации приведено в [2, 3].

По данным ФАО ООН потеря продуктов питания вследствие порчи составляет порядка трети от всего произведенного объема и равна 1,3 млрд. тонн. Внедрение процесса холодной пастеризации (электронно-лучевой обработки) позволит сократить потери пищевых продуктов, снизить заболеваемость населения и расширить рынки сбыта благодаря увеличению срока хранения готовой продукции.

Для эффективной обработки продукции необходимо обеспечить определенную глубину проникновения ионизирующего излучения, чтобы поглощенная доза внутри обрабатываемых изделий превышала нижний порог требуемой дозы.

Глубина проникновения электронного пучка определяется его энергией и не должна превышать порогового значения 10 МэВ, принятого международными организациями. Для изделий с высокой объемной плотностью или большими размерами обычно применяется обработка тормозным излучением.

Конструктивные особенности ускорителей типа ИЛУ

С начала 70-х гг. XX века в ИЯФе разрабатываются и производятся мощные импульсные линейные ускорители электронов типа ИЛУ, предназначенные для работы в условиях промышленного производства. Работа в промышленности предъявляет высокие требования к надежности оборудования. Почти 50 лет работы ускорителей ИЛУ на промышленных предприятиях России и других стран подтверждают конкурентоспособность этих машин и обоснованность их конструктивных решений.

Ускорители типа ИЛУ являются достаточно специфическими линейными высокочастотными ускорителями – это одно- и многорезонаторные машины, работающие в режиме стоячей полуволны. Рабочие частоты ускорителей ИЛУ находятся в метровом диапазоне радиоволн – 116 МГц и 178 МГц. Ускоряющие зазоры у этих машин короче длины волны в вакууме, поэтому в процессе ускорения электроны приобретают энергию практически равную максимальному

напряжению на резонаторе в случае однорезонаторных машин и сумме амплитуд ускоряющих напряжений на ускоряющих зазорах в случае многорезонаторных машин.

Высокочастотные (ВЧ) генераторы ускорителей ИЛУ реализованы на импульсных генераторах типа ГИ-50А, которые дешевле используемых в большинстве высокочастотных линейных ускорителей клистронов и магнетронов и обладают большим ресурсом (и временем работы).

Главное преимущество высокочастотных ускорителей – их компактность, высокая мощность в отсутствие высоковольтной изоляции, обеспечиваемой обычно, сосудами, заполненными элегазом под высоким давлением.

В настоящее время ИЯФ изготавливает и устанавливает ускорители электронов с мощностью пучка до 10 кВт при энергии 5 МэВ (ИЛУ-10), до 60 кВт при энергии до 7,5 МэВ (ИЛУ-12) и до 100 кВт при энергии до 10 МэВ (ИЛУ-14).

Для удовлетворения потребностей кабельной промышленности был разработан компактный ускоритель ИЛУ-8 с диапазоном энергии 0,8-1,0 МэВ и мощностью пучка до 20 кВт. Этот ускоритель размещается внутри местной радиационной защиты устанавливаемой в производственных цехах. Он может быть использован для поверхностной обработки сельскохозяйственных и пищевых продуктов.

Ускорители ИЛУ широко применяются в промышленности для модификации полимеров и стерилизации одноразовых медицинских изделий. В ближайшем будущем ожидается применение этих ускорителей для холодной электронной пастеризации пищевых продуктов.

Для обработки изделий с высокой объемной плотностью энергии 5 или даже 10 МэВ может быть недостаточно. В таком случае обычно применяется обработка тормозным излучением. В ИЯФе разработаны конверторы для генерации тормозного излучения для электронных пучков с энергией 5,0-7,5 МэВ и мощностью до 50 и до 100 кВт.

Установка конверторов под выпускными устройствами ускорителей занимает несколько минут.

Ускоритель ИЛУ-10

На рисунке 1 показана конструкция ускорителя ИЛУ-10. Диапазон рабочей энергии ускорителя ИЛУ-10 лежит в интервале 4-5 МэВ при мощности пучка до 50 кВт.

Высота ИЛУ-10 вместе с генераторами составляет 2,4 м. ВЧ генераторы размещены непосредственно на вакуумном баке ускорителя и работают параллельно на общую нагрузку – резонатор с рабочей частотой около 116 МГц.

Линейное выпускное устройство, показанное на рисунке 1, обеспечивает развертку пучка вдоль выпускного окна длиной 980 мм. ИЯФ может изготавливать выпускные устройства с большей длиной выпускного окна в соответствии с требованиями заказчика.

Краткое описание ускорителя ИЛУ-10 приведено
в работе [4].

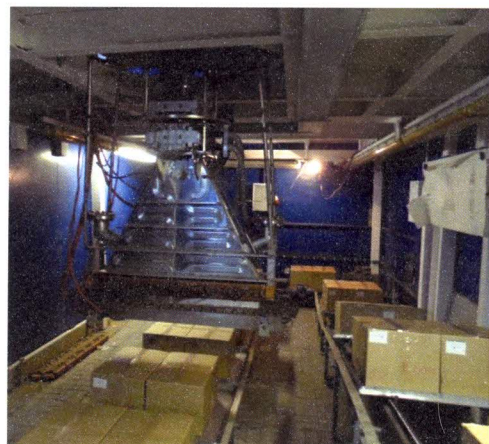
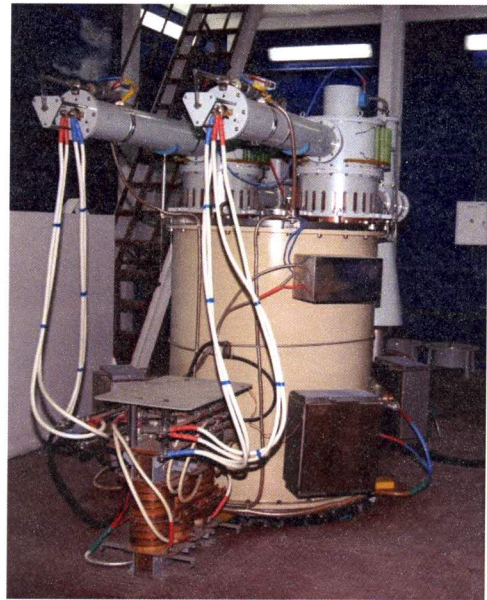
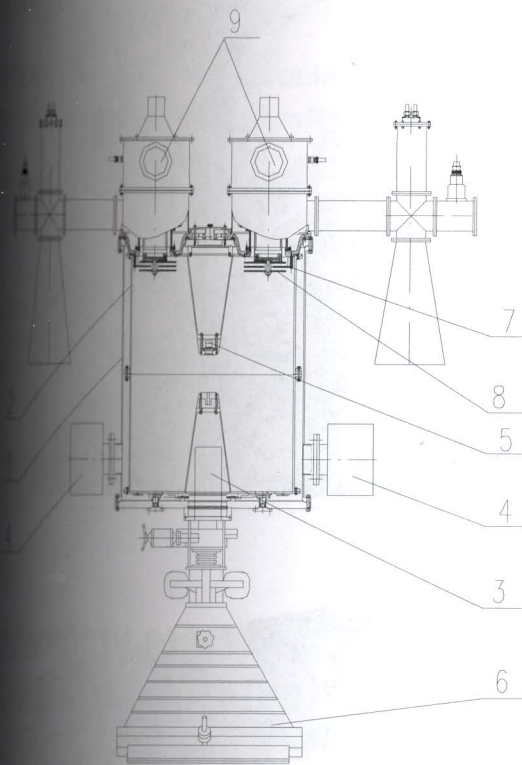


Рисунок 1 – Ускоритель ИЛУ-10

1 - вакуумный бак; 2 - резонатор; 3 - фокусирующая линза; 4 - магниторазрядные насосы;
5 - инжектор электронов; 6 - выпускное устройство; 7 - петля связи;
8 - вакуумный конденсатор петли связи; 9 - ВЧ генератор

Многорезонаторные ускорители ИЛУ-12 и

ИЛУ-14

Рост рынка одноразовых медицинских изделий и расширение использования ускорителей электронов для обработки пищевых продуктов вызвали спрос на новые ускорители с энергией 5 МэВ и выше (до 10 МэВ) и мощностью десятки и сотни кВт. Однорезонаторные ускорители оказались неэффективными при энергии выше 5 МэВ – потери в резонаторе нарастают пропорционально квадрату энергии. Для снижения потерь было решено сделать многорезонаторную ускоряющую структуру. В результате были

разработаны многорезонаторные ускорители ИЛУ-12 и ИЛУ-14 с диапазонами энергии 5,0-7,5 МэВ и 7,5-10,0 МэВ, соответственно, и мощностью пучка до 60 кВт и до 100 кВт. Описание ускорителя ИЛУ-14 приведено в работе [5].

На рисунке 2 показана конструкция ускоряющей структуры ускорителя ИЛУ-14 и ускоритель, установленный у заказчика. Для питания этого ускорителя используются отдельно стоящие двухкаскадные ВЧ генераторы на триодах ГИ-50А, ВЧ мощность передается в ускоряющую структуру через коаксиальные волноводы.

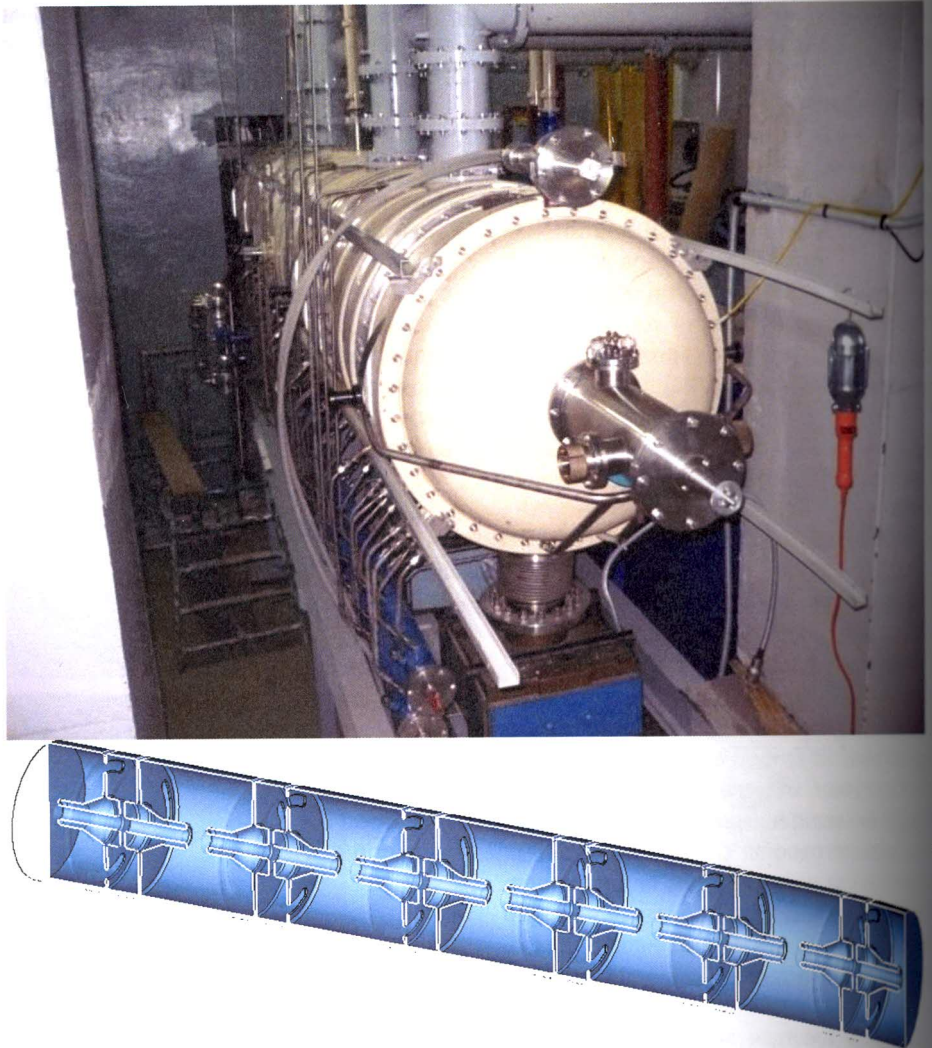


Рисунок 2 – Ускоряющая структура многорезонаторного ускорителя ИЛУ-14 – внешний вид и внутреннее строение

Заключение

В ИЯФе на протяжении десятилетий создаются и производятся промышленные ускорители электронов, а также создана и работает инфраструктура для исследования радиационных процессов и радиационной обработки продукции.

За прошедшие десятилетия в ИЯФе было разработано много радиационных технологий, начиная от технологии облучения проводов и кабелей, радиационно-термического синтеза и до стерилизации медицинских изделий, синтеза лекарственных средств и подготовки имплантатов.

На протяжении десятилетий ускорители типа ИЛУ широко применяются в промышленности для модификации полимеров и стерилизации одноразовых медицинских изделий. В ближайшем будущем они могут быть применены и для холодной электронной пастеризации пищевых продуктов.

Список литературы

1. IAEA 2008. Industrial Electron Beam Processing. IAEA, 1 September 2008.
2. Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Козлов Д.В. Перспективы использования радиационных технологий в агропромышленном комплексе Российской Федерации // Вестник РАЕН. 2014. № 1. С. 85.
3. Рождественская Л.Н., Брызгин А.А., Козлов М.В. Предпосылки и основания использования ионизирующего излучения для обработки продукции // Пищевая промышленность (Food Processing Industry). 2016. № 11. С. 39-45.
4. Ауслендер В.Л., Брызгин А.А., Коробейников И.В. и др. Радиационно-технологическая установка нового ускорителя электронов ИЛУ-10 для стерилизации медицинских изделий и синтеза

государственных средств // сб. докладов Одиннадцатого международного совещания по применению ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине. Санкт-Петербург: СПбГУ, 2005. С. 82-85.

5. Брызгин А.А., Безуглов В.В., Кокин Е.Н. и др. Промышленный линейный ускоритель электронов модульного типа ИЛУ-14 / Приборы и техника эксперимента. 2011. № 3. С. 5-21.

INDUSTRIAL ELECTRON ACCELERATORS TYPE ILU FOR FOOD PRODUCTS TREATMENT

Bryazgin A.A., Bezuglov V.V., Voronin L.A., Korobeynikov M.V., Maximov S.A., Nekhaev V.E., Radchenko V.M., Sidorov A.V., Tkachenko V.O., Faktorovich B.L.

Nuclear Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

email: bryazgin@inp.nsk.su

Nuclear Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (BINP SB RAS) is a world leading organization in development and production of charged particles accelerators for decades. It has been developing, producing and supplying powerful radio frequency electron accelerators type ILU since the beginning of 80-s. These machines are widely used in an industry for polymers modification and sterilization of single use medical products. We expect an application of ILU accelerators for food products cold pasteurization in nearest future.

Keywords: electron accelerator, electron beam, electron beam treatment

ISSN 143

ВОЗМОЖНОСТИ РАДИАЦИОННОГО ЦЕНТРА ИФХЭ РАН ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Быстров П.А.¹, Полякова С.П.², Ревина А.А.¹, Суворова О.В.¹, Павлов Ю.С.¹, Ершов Б.Г.¹

¹ФГБН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, г. Москва, Российская Федерация

email: topetet@mail.ru

²Московский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых изделий им. В.М. Горбатова» РАН, г. Москва, Российская Федерация

Представлены возможности радиационного центра ИФХЭ РАН по облучению пищевой продукции и исследования, проведенные на базе ускорителя УЭЛВ-10-10-С-70. Улучшены возможности центра по облучению объектов, расширен диапазон доз и мощностей доз облучения, разработана методика численного моделирования процесса облучения. Контроль дозы проводится при помощи пленочных дозиметров, а в области малых доз (до 1 кГр) при помощи дозиметра Фрике. Планирование экспериментов осуществляется при помощи численного моделирования, что позволяет добиться высокой однородности дозы. На оборудовании центра проведены исследования возможности эффективности подавления микроорганизмов, способствующих порче продуктов, от дозы облучения и с учетом эффекта образующегося в воздухе озона. Исследован вопрос оценки сохранности полезных свойств продуктов методом спектрофотометрии. Изучены профили доз облучения в некоторых видах облучаемой продукции.

Ключевые слова: технология, электрон, ускоритель, доза, микробиология, агрохим, отходы

Введение

В настоящее время активно развивается технология облучения электронным пучком, создаются новые радиационные центры, процесс радиационной

стерилизации удешевляется и становится более доступным. В связи с этим по данным МАГАТЭ во всем мире усиливается интерес к использованию радиационных технологий в агропромышленном комплексе [1, 2]. Одним из направлений исследований

Список литературы:

1. Пивоваров В.Ф., Добруцкая Е.Г., Кривенков Л.В. Селекция овощных культур на устойчивость к экотоксикантам // Доклады ТСХА. М.: ФГОУ ВПО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева. 2006. Вып. 278. С. 456-462.

2. Добруцкая Е.Г., Пивоваров В.Ф. Развитие экологической селекции и адаптивного семеноводства овощных культур в XXI веке // Современное состояние и перспективы развития селекции и семеноводства овощных культур. Международный симпозиум: материалы докладов, сообщений / РАСХН, ВНИИССОК. М., 2005. Т. 1. С. 328-349.

3. Добруцкая Е.Г. Экология питания // Овощи России. 2010. № 2(8) С. 22-25.

4. Добруцкая Е.Г., Сычева И.В. Накопление радионуклидов растениями шпината / Селекция и семеноводство овощных культур // Сб. научных трудов. М., 2002. Вып. 37. С. 79-81.

5. Солдатенко А.В. Экологические аспекты регулирования накопления радионуклидов растениями

овощных культур. Автореф. дисс. ... докт. с.-х. н. М., 2016. 44 с.

6. Старков В.Д. Радиационная экология. Тюмень: ИПП Тюмень, 2001. 208 с.

7. Дрягина И.В. Радиационный мутагенез при селекции вегетативно размножаемых растений // Радиационный мутагенез вегетативно размножаемых растений. ВАСХНИЛ. М.: Агропромиздат, 1985. С. 100-107

8. Кончина Т.А. Зависимость половой дифференциации растений от предпосевного γ -облучения семян на фоне различных экологических условий выращивания: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: замас. 2002. 21 с.

9. Патент 2412576 Российская Федерация, МПК 2 412 576 С2. Метод снижения содержания радионуклидов и тяжелых металлов в растениеводческой продукции путем предпосевной обработки семян. Пивоваров В.Ф., Добруцкая Е.Г., Солдатенко А.В. и др. заявитель и патентообладатель ГНУ Всероссийский науч.-исслед. ин-т селекции и семеноводства овощных культур РАСХН. № 2007129815/10; заявл. 06.08.2007; опублик. 27.02.2011, Бюл. № 6. 2 с.

AREAS OF RESEARCH OF THE FEDERAL SCIENTIFIC VEGETABLE CENTER TO THE PRODUCTION OF ECOLOGICALLY SAFE PRODUCTS

Soldatenko A.V.

FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center", v. VNISSOK, Russian Federation
e-mail: alex-soldat@mail.ru

The review of scientific research on selection work for a high content of biologically active compounds and a low level of ecotoxicants, as well as formation of varietal resources for providing the population with ecologically safe vegetable products, is presented. Radiation technologies of presowing seed treatment are considered, which contribute to increase productivity, improve biochemical composition and reduce the level of radionuclide intake into vegetable products.

Keywords: vegetables, seeds, selection, toxicants, radionuclides, gamma-irradiation

УДК: 641.1/3

ВОЗМОЖНОСТИ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ И МУКИ

Усенко Н.И.¹, Отмахова Ю.С.^{1,3}, Брызгин А.А.²

¹ ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», г. Новосибирск, Российская Федерация

² ФГБУН Институт Ядерной Физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

³ ФГБУН Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: n.i.usenko@yandex.ru

Полны представлены результаты применения ионизирующего облучения для зерна пшеницы и муки с использованием промышленных импульсных линейных ускорителей электронов типа ИЛУ. Получены результаты анализа определения элементного состава зерна и муки пшеницы, аминокислотного состава, технологических свойств облученной муки и качество выпеченного хлеба из обработанной муки. Показана возможность применения радиационной обработки для продления сроков хранения хлебобулочных изделий. В результате исследования была определена доза, которая проявляется в возможности получения изделий из облученной муки с хорошими органолептическими и физико-химическими показателями качества изделия и в повышенной устойчивости хлебопекарных изделий к заболеваниям «картофельной» болезнью в процессе хранения.

Ключевые слова: радиационная обработка, промышленный ускоритель электронов, зерно пшеницы, мука пшеничная, качество хлеба

Зерновые культуры являются одними из наиболее интересных объектов для радиационной обработки. Так, внедрение технологий ионизирующего облучения может обеспечить условия для соблюдения всех фитосанитарных норм, принятых в мире и, таким образом, послужить фактором увеличения доходов страны от экспортных поставок. На внутреннем рынке зерно пшеницы, в основном, используется для хлебопечения, и вопросы защиты зерна и муки от «картофельной» болезни особенно актуальны в связи с активным ее распространением [1]. Несмотря на многочисленные исследования, посвященные анализу радиационно-химического воздействия на пищевые системы, информация по результатам влияния на химический и аминокислотный состав зерна, технологические свойства зерна и муки, а также качественные характеристики хлеба, выпеченного из облученного сырья, в литературе практически отсутствует, что и определило цель данного исследования. Целью исследования являлось изучение влияния ионизирующего облучения на зерно пшеницы и муку пшеничную с точки зрения параметров безопасности, аминокислотного состава, технологических свойств муки и потребительских свойств выпеченных из нее хлебобулочных изделий. Результаты подобного исследования важны для осмысления возможностей и условий использования ионизирующего облучения для дальнейшего применения в отраслях экономики, для расширения внутреннего и экспортного зернового потенциала страны.

Материалы и методы

Для эксперимента была закуплена мука пшеничная хлебопекарная 2 сорта «Алейка» и зерно, выращенное в хозяйствах Промышленновского района Кемеровской области. В рамках исследования проводили оценку свойств зерна пшеницы и пшеничной хлебопекарной муки 2 сорта «Алейка», не подвергавшейся облучению (контроль) и подвергнутой облучению: проба 1 – 0,27 кг, проба 2 – 0,54 кг, проба 3 – 0,81 кг, проба 4 – 1 кг, проба 5 – 3 кг, проба 6 – 10 кг. Облучение проводили в Институте ядерной физики СО РАН на электронном ускорителе ИЛУ-10 с энергией электронов 5 МэВ. Максимальная мощность пучка 50 кВт. Использование промышленных ускорителей серии ИЛУ связано с особенностями пастеризации пищевых продуктов, так как данные

ускорители способны работать как в режиме электронной обработки продукции, так и в режиме генерации тормозного гамма-излучения с проникающей способностью до 40 г/см² при двустороннем облучении [2].

Определение элементного состава зерна и муки пшеницы проводили с помощью методов атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии для пробы 6 с максимальным значением ионизирующего облучения среди исследуемых образцов – 10 кг. Разложение проб зерна и муки пшеницы для определения аминокислотного состава проводили методом гидролиза и методами высокоэффективной жидкостной хроматографии – хроматограф фирмы Милихром А-02 («Эконова», Россия), колонка ProntoSIL120-5-C18 AQ [3]. Затем пробы были проанализированы на макро- и микроэлементы методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопией. Спектрометры IRIS Advantage («Thermo Electron», США) и SOOLARM6 («Thermo Electron», США) (ГОСТ 30178-96) [4].

Технологические свойства используемой муки и качество хлеба проводились на пробах 1-6 и контрольных образцах. Для оценки качества муки применяли стандартные методы (ГОСТ 27676-88; ГОСТ 27839-2013): влажность определяли ускоренным методом высушивания в сушильном шкафу, кислотность – методом кислотно-основного титрования водномучной болтушки; белизну – на приборе белизномере РЗ-ТБМС-М; число падения – на приборе ЧП-1; массовую долю сырой клейковины получали отмыванием водой с последующим взвешиванием; качество сырой клейковины характеризовали по цвету, растяжимости, упруго-эластичным свойствам (на приборе ИДК-3М), и по ее гидратационной способности; газообразующую способность муки – волюмометрическим методом на приборе Яго-Островского. Технологические свойства используемой муки и качество хлеба из нее определяли методом пробной лабораторной выпечки [5]. Для объективной оценки органолептических показателей качества изделий был использован метод 20-балльной оценки [6]. Для оценки изменения устойчивости хлебопекарных изделий к заболеваниям «картофельной» болезнью в процессе хранения данные изделия после выпечки и охлаждения помещали в провокационные условия с использованием термостата при температуре 37 °С.

Результаты исследований

В рамках исследования были получены результаты по определению элементного состава зерна и муки до и после обработки ионизирующим облучением (10 кГр) на содержания таких элементов как алюминий, барий, кальций, кадмий, калий, медь, магний, марганец, молибден, натрий, фосфор, свинец, никель, стронций, титан, рубидий, цинк. Проведенная обработка зерна и муки не снизила содержание важных макро- и микроэлементов. По результатам элементного анализа образцов зерна и муки было установлено, что содержание токсичных элементов в

обработанных пробах не увеличилось и не превышает предельно допустимые концентрации в соответствии с требованиями Технического регламента Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» от 09.12.2011 (ТР ТС 021/ 2011).

Разложение проб пшеницы для определения аминокислотного состава проводили методом гидролиза. В нижеприведенной таблице представлены результаты анализа важнейших незаменимых аминокислот (треонин, метионин, валин, цистеин, изолейцин, лейцин, фенил-аланин, триптофан, лизин) в зерне и муке до и после ионизирующего облучения.

Таблица 1

Результаты анализа аминокислотного состава зерна пшеницы и муки пшеничной, г/л*

Проба/ Аминокислота	Треонин	Метионин	Валин	Цистеин	Изолейцин	Лейцин	Фенил-аланин	Триптофан	Лизин
Мука	4,3	3,4	2,7	1,6	3,8	7,7	4,4	0,8	1,3
Мука обл.	3,9	3,6	2,9	1,7	3,5	6,7	3,8	0,7	1,7
Пшеница	6,9	4,9	6,7	1,8	7,6	8,1	6,2	2,7	2,9
Пшеница обл.	6,3	4,6	7,0	2,2	7,5	8,0	6,8	2,9	3,4

* – погрешность определения не превышает 15%.

В результате проведенного анализа установлено, что после облучения зерна и муки аминокислотный состав практически не изменился (изменения в пределах допустимого). Таким образом, полученные результаты, показывают отсутствие отрицательного влияния радиационной обработки на содержание незаменимых аминокислот в зерне и муке, что является

одной из важных характеристик при оценке питательных свойств данного сырья.

Результаты оценки свойств зерна пшеницы и пшеничной хлебопекарной муки 2 сорта «Алекая», не подвергавшейся облучению (контроль) и подвергнутой облучению: проба 1 – 0,27 кГр, проба 2 – 0,54 кГр, проба 3 – 0,81 кГр, показаны в нижеприведенной таблице.

Таблица 2

Результаты анализа показателей качества муки

Наименование показателя, ед. измерения	Мука пшеничная хлебопекарная 2 сорта			
	контроль	проба 1 (0,27 кГр)	проба 2 (0,54кГр)	проба 3 (0,81 кГр)
Влажность, %	10,2	11,6	11,6	11,6
Количество сырой клейковины, %	27,0	27,0	29,0	30,0
Качество сырой клейковины: Цвет	серая	серая	серая	серая
Растяжимость, см	13	14	14	14
Эластичность	хорошая	хорошая	хорошая	хорошая
ИДК, условных ед. прибора; группа	65 1 - хорошая	63 1 - хорошая	68 1 - хорошая	75 1 - хорошая
Гидратационная способность, %	152	161	168	150
Число падения, сек	294	280	261	281

Как видно из таблицы 2, массовая доля сырой клейковины муки была достаточно высокой (по ГОСТ Р 52189-2003 – не менее 25 %), качество клейковины хорошее (1 группа), с хорошей гидратационной способностью, что является определяющими

факторами в оценке хлебопекарных свойств используемой муки. Проведенный комплексный анализ свойств муки позволяет характеризовать пробы муки (1-3), подвергнутые облучению, как

соответствующие требованиям ГОСТ с хорошими технологическими свойствами.

Анализ показателей качества изделий из муки, обработанной излучением, показал, что данные показатели по органолептическим и физико-химическим свойствам были даже несколько лучше, чем у изделий из муки контрольной пробы. Готовые изделия имели больший удельный объем и лучшие, по результатам балльной оценки, органолептические показатели.

Далее было проанализировано особенности изменения такого важного потребительского свойства изделия, как их устойчивость к заболеваниям в процессе хранения. Проведенные исследования показали, что используемая пшеничная хлебопекарная мука 2 сорта отвечала требованиям Технического регламента Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» от 09.12.2011 (ТР ТС 021/ 2011), а именно в том, что признаки «картофельной болезни» не проявились спустя 36 часов.. Явно выраженные признаки заболевания у этой пробы наблюдались через 72 часа хранения, также имели место выраженные признаки плесневения. У проб, обработанных облучением слабой степени (0,27 кГр) и умеренной (0,54 кГр), признаки заболевания «картофельной» болезнью появились через 72 часа и явные признаки плесневения были больше, чем у контроля. У пробы, обработанной облучением сильной степени (0,81 кГр), признаки заболевания «картофельной» патогеном через 72 часа не обнаружены, присутствовало плесневение на уровне контроля. Основной положительный эффект облучения при 0,81 кГр проявился в существенном замедлении развития «картофельной» болезни. Дальнейшее увеличение дозы облучения приводит к необратимым биохимическим процессам окисления липидов и ухудшению запаха муки и изделий из нее.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-29-12877).

Заключение

Проведенный анализ облученного зерна и муки по сравнению с контрольной партией показал, что содержание токсичных элементов в обработанных пробах не увеличилось и не превышает предельно допустимые концентрации в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011. По результатам анализа аминокислотного состава исследуемых образцов, обработанных методом холодной пастеризации, содержание незаменимых аминокислот не изменилось.

В процессе исследования выявлено, что для сохранения органолептических свойств важны подопытные дозы облучения. Так, малые дозы ионизирующего облучения усугубляют процесс порчи изделий в процессе хранения, а при облучении

интенсивностью 1 кГр и выше готовая продукция имела неприятный запах. При этом, появившийся посторонний запах, усиливающийся с увеличением степени облучения, по-видимому, связан с усилением процесса окисления липидов. В результате исследования была подобрана доза облучения 0,81 кГр зерна и муки, которая позволяет получить изделия из облученной муки с хорошими органолептическими и физико-химическими показателями качества изделия и с повышенной устойчивостью хлебопекарных изделий к заболеваниям «картофельной» болезнью в процессе хранения. Эти выводы имеют особое значение для продовольственного зерна и муки хлебопекарного назначения.

Результаты исследования важны для оценки возможностей и условий использования ионизирующего облучения для дальнейшего применения в отраслях экономики России, для расширения внутреннего и экспортного зернового потенциала страны. Необходимо разрешение проблем, связанных с несовершенством законодательной базы использования радиационных технологий, отсутствия проработанных механизмов внедрения технологий ионизирующего облучения в существующие процессы производства и переработки сельскохозяйственной и пищевой продукции.

Список литературы

1. Усенко Н.И., Отмахова Ю.С., Позняковский В.М. Структурные и качественные трансформации на рынке хлеба (анализ современного состояния и проблем развития) // ЭКО. 2016. № 1. С. 108-124.
2. Безуглов В.В., Брызгин А.А., Власов А.Ю. и др. Промышленные ускорители электронов ИЛУ для стерилизации медицинских изделий и обработки пищевых продуктов // Письма в ЭЧАЯ. 2016. Т. 13. № 7 (205). С. 1581-1585.
3. Барам Г.И. Методика ВЭЖХ-определения аминокислот в автолизате дрожжей в виде фенилтиокарбамаильных производных. Иркутск, ЗАО Институт хроматографии «ЭкоНова», 1998. 9 с.
4. Руденко А.О., Карцова Л.А. Определение важнейших аминокислот в сложных объектах биологического происхождения методом обращенно-фазовой ВЭЖХ с получением фенилтиогидантоинов аминокислот // Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. Т. 10. Вып. 2. С. 223-230.
5. Пучкова Л.И. Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства. 4-е изд. перераб. и доп. СПб.: ГИОРД, 2004. 264 с.
6. Романов А.С., Давыденко Н.И., Шатнюк Л. и др. Экспертиза хлеба и хлебобулочных изделий. Качество и безопасность: учебное пособие / Под ред. В.М. Позняковского. Саратов: Вузовское образование, 2014.

Научное издание

**Радиационные технологии
в сельском хозяйстве и пищевой промышленности:
состояние и перспективы**

Сборник докладов
Международной научно-практической конференции
(Обнинск, 26-28 сентября 2018 г.)

ISBN 978-5-903386-53-6



356 стр.

Компьютерная верстка Шубина О.А.

Подписано в печать 14.09.2018 г.
Формат 60x90 ¹/₈. Гарнитура PT Sans, AGLetterica.
Усл. печ. л. 44,5. Тираж 350 экз. Заказ № 31.

Издательство ФГБНУ ВНИИРАЭ
249032, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км
www.rirae.ru

Отпечатано в ООО "Компания "Оптима-арт"
249038, г.Обнинск, ул. Гурьянова, д.21, оф.116
+7 484 395-56-46, info.optibook@gmail.com
www.optibook.ru