

КРУГЛЫЙ СТОЛ

**ПРИМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ,
ИОНИЗИРУЮЩИХ И
НЕИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В
АГРОБИОТЕХНОЛОГИЯХ**

21 сентября 2016 года, г. Москва

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

Москва - Обнинск - 2016

УДК 54; 539.1.04; 613.648; 631.17

Редакционная коллегия:

Б.Ф. Мясоедов, академик РАН
А.А. Завалин, член-корр. РАН
Н.И. Санжарова, член-корр. РАН

Составители:

О.А. Шубина, О.Э. Пронина

Применение химических веществ, ионизирующих и неионизирующих излучений в агробiotехнологиях: сборник докладов круглого стола в рамках XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии, Москва, 21 сентября 2016 г., Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ. - 128 с.

21 сентября 2016 г. в рамках XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии был организован круглый стол «Применение химических веществ, ионизирующих и неионизирующих излучений в агробiotехнологиях».

В сборнике представлены доклады по направлениям: применение химических веществ в агротехнологиях, применение ионизирующих и неионизирующих излучений в производстве, переработке и хранении сельскохозяйственного сырья и пищевой продукции,

Материалы публикуются в авторской редакции.

ISBN 978-5-903386-43-7

©ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Секция: Применение химических веществ в агротехнологиях

Алферов А.А.

Эффективность действия азотного удобрения при использовании
ризоагрина на яровой пшенице..... 7

Завалин А.А.

Эффективность применения биомодифицированных минеральных
удобрений..... 13

Логинова Е.С., Никольский В.М., Смирнова Т.И., Толкачева Л.Н.

Создание и применение комплексонных микроэлементных удобрений..... 18

Петропавловский А.А., Бекбаев А.С., Черничкин Р.В.

Применение оксида этилена в сельском хозяйстве..... 21

Ратников А.Н., Свириденко Д.Г., Петров К.В., Суслов А.А., Попова Г.И.

Органо-минеральный препарат Геотон – инновационная разработка для
сельского хозяйства..... 26

Хамизов Р. Х., Мясоедов Б. Ф., Конов М.А.

Новая технология производства быстрорастворимых удобрений для
капельного орошения..... 32

Цыганова Н.А., Воронкова Н.А., Дороненко В.Д., Волкова В.А.

Предпосевная обработка семян стимуляторами роста в сверхмалых дозах..... 37

Шашковский С.Г., Киреев С.Г., Ершов Б.Г.

Высокоинтенсивная фотохимическая технология обеззараживания
объектов хранения и переработки пищевой продукции..... 41

Секция: Применение ионизирующих и неионизирующих излучений в производстве, переработке и хранении сельскохозяйственного сырья и пищевой продукции

Авдюхина В.М., Близнюк У.А., Борщеговская П.Ю., Бусленко А.В.,

Еланский С.Н., Илюшин А.С., Левин И.С., Студеникин Ф.Р., Черняев А.П.

Ингибирование прорастания клубней картофеля после воздействия
рентгеновского излучения..... 47

<i>Барabanов В.В., Безуглов В.В., Брызгин А.А., Власов А.Ю., Воронин Л.А., Коробейников М.В., Нехаев В.Е., Максимов С.А., Панфилов А.Д., Радченко В.М., Штарклев Е.А., Сидоров А.В., Ткаченко В.О., Факторович Б.Л.</i>	
Мощные импульсные линейные ускорители электронов ИЛУ и их применение в пищевой промышленности.....	48
<i>Груздев Н.А., Лобанов И.В.</i>	
Мировой опыт применения ионизирующих излучений для продления сроков годности свежих овощей и фруктов.....	56
<i>Ершов Б.Г., Грачева А.Ю., Завьялов М.А., Илюхина Н.В., Павлов Ю.С., Прокопенко А.В., Филиппович В.П.</i>	
Радиационно-биологические технологии, реализованные в центре радиационных технологий ИФХЭ РАН.....	59
<i>Исамов Н.Н., Козьмин Г.В., Губарева О.С., Рясная Е.И., Алешикина Е.Н.</i>	
Радиационная стерилизация продукции животного происхождения.....	65
<i>Кобялко В.О., Козьмин Г.В., Лыков И.Н., Саруханов В.Я. Полякова И.В., Фролова Н.А., Брызгин А.А.</i>	
Радиационная обработка многокомпонентных пищевых продуктов (рыбных пресервов) на электронном ускорителе.....	70
<i>Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Павлов А.Н., Тихонов В.Н., Пронина О.Э.</i>	
Перспективы применения ионизирующих излучений и других физических факторов в агробиотехнологиях	76
<i>Лой Н.Н., Гулина С.Н., Щагина Н.И., Миронова М.П.</i>	
Влияние ионизирующих излучений на жизнеспособность насекомых-вредителей зерна и зернопродуктов	82
<i>Молин А.А., Будник С.В.</i>	
Радиационные технологии в агрокомплексе и пищевой промышленности.....	87
<i>Павлов Ю.С., Ершов Б.Г., Казякин А.А., Шинкарев В.М.</i>	
Центр радиационных технологий ИФХЭ РАН: возможности и перспективы	88
<i>Павлов А.Н., Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Пименов Е.П., Микаилова Р.А.</i>	
Эффективность экспериментально-производственного процесса	

радиационной обработки сельскохозяйственной продукции растительного происхождения на гамма-установке ГУР-120.....	95
<i>Пименов Е.П., Морозова А.И., Васильева Н.А., Павлов А.Н.</i>	
Влияние ионизирующих излучений на жизнеспособность микроорганизмов, обсеменяющих специи	101
<i>Поликарпов Н.А., Шаиковский С.Г., Ершов Б.Г.</i>	
Увеличение сроков хранения белого винограда при его облучении высокоинтенсивными потоками УФ излучением сплошного спектра.....	104
<i>Санжарова Н.И., Козьмин Г.В., Гераськин С.А.</i>	
Фундаментальные и прикладные аспекты применения радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности.....	109
<i>Смирнов В.П., Крастелев Е.Г., Сартори А.В., Часовских А.В.</i>	
Радиационные и электроимпульсные воздействия в переработке пищевой продукции	113
<i>Упадышев М.Т., Донецких В.И., Петрова А.Д., Метлицкая К.В.</i>	
Магнитно-импульсная терапия при оздоровлении растений груши от вирусов <i>in vitro</i>	119
<i>Цыгвинцев П.Н., Тихонов А.В., Рачкова В.М., Любимова Л.А., Манин К.В.</i>	
Сохранность клубней картофеля после гамма-облучения	122

СЕКЦИЯ
ПРИМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В
АГРОТЕХНОЛОГИЯХ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ АЗОТНОГО УДОБРЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РИЗОАГРИНА НА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕ

Алферов А.А.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова»,
127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а, alferov72@yandex.ru*

Общей тенденцией мирового сельского хозяйства в конце XX – начале XXI веков является направление, связанное с его интенсификацией. Научно-обоснованное применение удобрений является неотъемлемой частью этого процесса, обеспечивающей высокую урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур. На бедных органическим веществом дерново-подзолистых почвах даже при средней обеспеченности фосфором и калием ведущая роль в формировании урожая яровой пшеницы принадлежит азоту [1-3].

Минеральные удобрения оказывают существенное влияние на процессы трансформации азота в почве – синтез органических соединений (иммобилизацию) и их разложение (минерализацию). В обычных условиях (без применения удобрений) минерализация органического вещества превалирует над процессом иммобилизации, вследствие чего в почве создается и постоянно присутствует определенный запас минерального азота – «нетто-минерализация» [3]. Использование удобрений изменяет равновесие между минерализацией и иммобилизацией азота в почве. В агроценозе при внесении удобрений запас минерального азота обусловлен количеством поступившего и связанного азота и активностью микроорганизмов, участвующих в различных циклах его превращения.

В агроэкосистеме наряду с удобрениями дополнительным источником улучшения азотного питания растений служит биологический азот, фиксированный симбиотическими и ассоциативными микроорганизмами в посевах сельскохозяйственных культур [4-7]. К настоящему времени установлена высокая отзывчивость ряда сельскохозяйственных культур на обработку их биопрепаратами азотфиксаторов [6-8].

Цель работы – определить эффективность применения ризоагрина при возделывании яровой пшеницы на разных фонах минерального питания и уточнение закономерностей использования растениями азота из разных источников (удобрение, почва, биологический азот).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценку эффективности применения минеральных удобрений и биологического препарата ризоагрин проводили в микрополевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в Смоленской области.

Агрохимические характеристики почвы: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,98%; $pH_{kcl} = 5,1-5,2$; содержание подвижных форм P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову) – соответственно 57,6 и 153,1 мг/кг почвы. Опыт проводили в сосудах без дна площадью 0,018 м². Схема опыта представлена в таблице 1. Повторность - 4-х кратная. Варианты в опыте размещали методом рендомизированных повторений. Культура – яровая пшеница сорта Злата.

Препарат ризоагрин, изготовленный во ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии на основе ризосферных ассоциативных микроорганизмов *Agrobacterium radiobacter*, представляет собой порошоквидный торфяной субстрат, обогащенный питательными веществами. В 1 г препарата содержится 6-10 млрд. бактериальных клеток. Согласно рекомендации ВНИИСХМ обработку зерна яровой пшеницы проводили в день посева из расчета 600 г препарата на 6 млн. всхожих семян. В качестве прилипателя использовали 1 %-ный раствор казеина.

В целях изучения потребления азота растениями из минерального удобрения и почвы использовали стабильный изотоп азота ¹⁵N в виде соли ¹⁵NH₄¹⁵NO₃ с обогащением 54,04 ат. %. Азотное удобрение в дозе эквивалентной N45 вносили в сосуды перед посевом (0,081 г N/сосуд). В качестве фона применяли Рсд и Кх в дозах эквивалентных Р60 и К60 соответственно. В исследованиях использовали общепринятые методы анализов почвенных и растительных образцов, изотопный состав азота определяли на масс-спектрометре «Delta V».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Условия минерального питания и инокуляция биопрепаратом оказали существенное влияние на урожайность зерна яровой пшеницы, которая изменялась от 5,86 до 10,39 г/сосуд (таблица 1). В варианте применения РК-удобрений урожайность зерна составила 5,86 г/сосуд. Внесение аммиачной селитры способствовало повышению сбора зерна на 1,73 г/сосуд (на 29,5%) и соломы - на 4,03 г/сосуд (на 44,7%).

Инокуляции посевного материала яровой пшеницы ризоагрином на фоне Р60К60 способствовала увеличению урожайности зерна на 1,14 г/сосуд или 19,5%, что в условиях жаркого и относительно сухого вегетационного периода несколько ниже действия азотного удобрения. Вместе с тем необходимо отметить, что применение биопрепарата на основе ассоциативных diaзотрофов в сочетании с минеральным азотным удобрением способствовало росту урожайности на 4,53 г/сосуд, или на 77,3% по сравнению с контролем. Синергия эффектов от совместного применения ризоагрина и удобрений, по-видимому, связана с тем, что растения в начальный период вегетации, когда активность азотфиксирующих бактерий еще относительно не велика, потребляют азот минерального удобрения, а биологический азот, накопленный ассоциативными азотфиксаторами в течение вегетации –

на более поздних этапах развития растений, когда доступного азота удобрений уже не осталось [4].

Анализ данных микрополевого опыта не выявил четких закономерностей влияния удобрения и ризоагрина на содержание азота в зерне и соломе яровой пшеницы (таблица 2).

Таблица 1. Влияние азотного удобрения и ризоагрина на продуктивность яровой пшеницы

Вариант	Урожайность, г/сосуд		Прибавка, г/сосуд	
	зерно	солома	зерно	солома
Фон – P ₆₀ K ₆₀ (Ф) - контроль	5,86	9,02	-	-
Ф + N ₄₅	7,59	13,05	1,73	4,03
Ф + Ризоагрин (РА)	7,00	10,35	1,14	1,33
Ф + N ₄₅ + РА	10,39	12,14	4,53	3,12

- для частных различий НСР₀₅ 1,53 3,11

- для главных факторов НСР₀₅ 0,77 1,56

- для взаимодействий НСР₀₅ 1,08 2,20

При применении азотного удобрения увеличивалась концентрация азота в зерне. Действие биопрепарата на эти показатели было неоднозначным. Применение ризоагрина на фоне РК - удобрения увеличивало содержание азота в зерне, в тоже время на варианте его использовании с NPK положительного эффекта от их совместного применения не отмечено.

Таблица 2. Содержание и вынос азота яровой пшеницы с урожаем зерна и соломы

Вариант	Содержание, %		Вынос с урожаем, мг/сосуд			Увеличение выноса (мг/сосуд) от	
	зерно	солома	зерно	солома	всего	N ₄₅	РА
Фон – P ₆₀ K ₆₀ (Ф)	2,05	0,51	103	40	143	-	-
Ф + N ₄₅	2,22	0,54	145	61	206	63	-
Ф + ризоагрин (РА)	2,24	0,49	135	44	179	-	36
Ф + N ₄₅ + РА	2,16	0,48	193	50	243	64	37

НСР₀₅ 0,05 0,03

Внесение аммиачной селитры на фоне P60K60 способствовало увеличению содержания азота в соломе яровой пшеницы. Вместе с тем отмечено снижение содержания азота в соломе при инокуляции яровой пшеницы изучаемым биопрепаратом, что связано с ростовым разбавлением [4].

Вынос азота является функцией величины урожайности зерна и соломы и содержания этого элемента в соответствующих частях

растений. Основное воздействие на размеры выноса азота оказали условия минерального питания. Внесение аммиачной селитры способствовало увеличению выноса азота с урожаем на 63 мг/сосуд (на 44%). Инокуляция семян препаратом diaзотрофов повышала вынос азота как на фоне РК, так и на фоне NPK. Увеличение выноса азота с урожаем яровой пшеницы от ризоагрина достигало 25% на фоне РК и 18% - на фоне полного минерального удобрения.

Образование в почве минерального азота и его использование растениями регулируется сложными внешними факторами и зависит от содержания общего количества связанного азота в экосистеме и микробиологической активности [3]. Одна из задач исследования – совершенствование оценки структуры потребления сельскохозяйственным растением азота из разных источников: почва – удобрения – атмосфера. С использованием метода⁹ определены источники и размеры потребления азота яровой пшеницей (таблица 3). Основное количество азота поступало в растения из почвы: 143 мг N/сосуд на фоне РК-удобрений, что отражает запасы минерального азота, образующегося в процессе минерализации органического вещества почвы («нетто-минерализация») [3]. Внесение азотного удобрения способствует снижению доли почвенного азота в структуре выноса его с урожаем до 83%, при инокуляции ризоагрином – до 80%. Совместное использование азотного удобрения и биопрепарата приводит к снижению доли потребления растениями яровой пшеницы почвенного азота до 65%.

Таблица 3. Доля различных источников азота в формировании урожая яровой пшеницы

Вариант	N _п		N _ф		N _{уд}		«экстра» - азот		Вынос азота с урожаем	
	мг/сосуд	%	мг/сосуд	%	мг/сосуд	%	мг/сосуд	%	мг/сосуд	%
Фон – P ₆₀ K ₆₀ (Ф)	143	100	–	–	–	–	–	–	143	100
Ф + N ₄₅	143	69	–	–	36	17	27	13	206	100
Ф + Ризоагрин (РА)	143	80	36	20	–	–	–	–	179	100
Ф + N ₄₅ + РА	143	58	36	15	46	19	18	7	243	100

Примечание: N_п – азот из почвы; N_ф – азот несимбиотической (ассоциативной) азотфиксации; N_{уд} – азот из удобрений.

В условиях крайне неравномерного выпадения осадков и засушливого периода во время налива и созревания зерна растения яровой пшеницы использование метода [9] позволило установить, что коэффициент использования азота из аммиачной селитры равен 45% (36 мг N/сосуд), а при совместном применении азотного удобрения и

ризоагрина коэффициент использования азота возрастает до 56% (46 мг/сосуд).

Одновременно необходимо отметить, что применение азотного удобрения вносит существенные изменения в сбалансированный ход процессов минерализации-иммобилизации, приводя к активации процесса минерализации органического вещества почвы и дополнительному накоплению минерального азота («экстра» - азота). В опыте применение аммиачной селитры в дозе эквивалентной N_{45} , привело к образованию 27 мг «экстра» - азота /сосуд (13% от «нетто-минерализации»). В структуре выноса азота с урожаем доля ассоциативного азота, фиксированного ризосферными diaзотрофами, на фоне РК-удобрений достигла 20% (36 мг N/сосуд).

Применение метода изотопной индикации позволило оценить интенсивность и направленность процессов трансформации азота в почве под влиянием изучаемых агротехнических приемов и установить, что на дерново-подзолистой почве с невысоким содержанием гумуса иммобилизовалось 32% от азота (26 мг/сосуд), внесенного с удобрениями. Потери азота из удобрения составили 19 мг/сосуд (23%). Инокуляция семян яровой пшеницей биопрепаратом не оказывала достоверного влияния на процесс иммобилизации азота из NH_4NO_3 , но потери азота из удобрения при применении ризоагрина составили 10% (8 мг/сосуд), что существенно меньше, чем в варианте применения только азотного удобрения.

Расчет баланса N с использованием методики [10] показал, что на всех изучаемых вариантах опыта наблюдалось отрицательное его значение - от минус 58,2 (NPK) до минус 52,6 кг/га (NPK + ризоагрин). Следует отметить, что на варианте NPK + PA установлено максимальное значение выноса азота, которое могло ещё больше увеличить отрицательное значение баланса азота, но за счет потребления растениями биологического азота, фиксированного ризосферными микроорганизмами *Agrobacterium radiobacter*, этого не произошло. Отрицательное значение баланса азота на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве уменьшилась на 9%.

Таким образом, обработка семян ризоагрином перед посевом способствовала существенному увеличению зерновой продуктивности яровой пшеницы на дерново-подзолистой почве по сравнению с РК-фоном (+1,14 г/сосуд или 19,5%), но уступала действию азотного удобрения в дозе N_{45} (+1,73 г/сосуд или 29,5%). В условиях крайне неравномерного выпадения осадков и повышенных температур воздуха положительный эффект от совместного использования азотного удобрения и ризоагрина составил 4,53 г/сосуд или 77,3%. При применении N-удобрения концентрация азота в зерне и соломе увеличивалась. Ризоагрин оказывал положительное влияние на эти показатели только в варианте РК.

Доля азота удобрения в выносе урожаем яровой пшеницы составила 17 % от общего выноса. Коэффициент использования азота удобрения на фоне РК был равен 45%, при инокуляции семян ризоагрином он возрастал до 56%. При применении аммиачной селитры количество иммобилизованного азота составило 32-34 % от дозы удобрения. Инокуляция семян яровой пшеницы перед посевом не влияла на иммобилизацию азота удобрения, но снижала величину потерь.

Литература

1. Кореньков Д.А., Синягин И.И., Петербургский А.В. и др. Удобрения, их свойства и способы использования / под ред. Д.А. Коренькова – М.: Колос, 1982. – 415 с.
2. Сычев В.Г., Соколов О.А., Шмырева А.Я. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Том 1. Агрехимические аспекты роли азота в продукционном процессе. – М.: ВНИИА, 2009. – 423 с.
3. Кореньков Д.А. Агрэкологические аспекты применения азотных удобрений. М.: Агроконсалт, 1999. – 296 с.
4. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: Изд-во ВНИИА, 2005. – 302 с.
5. Шотт П.Р., Литвинцев П.А., Литвинцева Т.А., Кожемяков А.П. Применение препаратов корневых diaзотрофов при возделывании зерновых культур на Алтае // Достижения науки и техники АПК, 2010, № 6, с. 29-31.
6. Завалин А.А. Азотное питание и продуктивность сортов яровой пшеницы. М.: Агроконсалт, 2003. – 152 с.
7. Кожемяков А.П., Белоброва С.Н., Орлова А.Г. Создание и анализ базы данных по эффективности микробных биопрепаратов комплексного действия // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. – С. 112-115.
8. Биопрепараты в сельском хозяйстве. (Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве). М.: Россельхозакадемия, 2005. – 154 с.
9. Оценка эффективности микробных препаратов в земледелии (методика) / Завалин А.А., Духанина Т.М., Чистотин М.В., Ладонин В.Ф. и др. М.: Изд-во Россельхозакадемии, 2000. – 82 с.
10. Методические рекомендации по изучению показателей плодородия почв, баланса гумуса и питательных веществ в длительных опытах / отв. ред. Шишов Л.Л. М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1987. – 80 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БИОМОДИФИЦИРОВАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Завалин А.А.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
агротехники имени Д. Н. Прянишникова»,
127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а, bioazot@mail.ru*

В настоящее время в мировой практике прослеживается тенденция снижения доз применяемых минеральных удобрений и увеличивается роль интегрированного использования агротехнических приемов, направленных на поддержание естественного плодородия почв, включая научно обоснованные севообороты, мероприятия, направленные на повышение биоразнообразия полезной почвенной микрофлоры. Наряду с минеральными удобрениями и химическими средствами защиты растений, по экономическим и экологическим соображениям предлагается широко использовать возможности биологической азотфиксации (введение в севооборот бобовых культур, использование ассоциативных микроорганизмов), биологических средств защиты растений и микробиологических препаратов.

Российские ученые разработали, апробировали и запатентовали способ получения биомодифицированных минеральных удобрений, заключающийся в совмещении гранул минеральных удобрений с бациллярным препаратом. Выявлена возможность целенаправленного совмещения гранул минеральных удобрений с бациллярными препаратами, обладающими комплексом полезных для культурных растений свойств, такими как: стимуляция роста растений и их защита от грибных и бактериальных заболеваний, усиление иммунитета растений к стрессовым условиям (заморозки, засуха),

Экономический эффект обусловлен тем, что материальные затраты на приобретение и внесение удобрений на 1 га сокращаются в 1,5-1,7 раза. В масштабах страны применение данного препарата позволит сократить использование природных и энергетических ресурсов, потребляемых для производства минеральных удобрений (3 млн. т) и сэкономить около 1 млрд. долларов. Экономическая и экологическая эффективность от внесения биомодифицированных минеральных удобрений очевидна и была продемонстрирована производственными опытами, проведенными компанией «Фосагро-Регион» в Нижегородской и Ульяновской областях. Кроме того, эффективность биоминеральных удобрений была продемонстрирована в Австралии на различных сельскохозяйственных культурах (томаты, картофель, сахарный тростник, пшеница).

Биопрепарат БисолбиФит представляет собой порошок от светло-серого до кремового цвета. Действующим веществом препарата

БисолбиФит является штамм ризосферных бактерий *Bacillus subtilis* Ч-13 и его метаболиты. Этот препарат предназначен для биологической модификации всех видов минеральных удобрений с целью повышения коэффициента использования растениями из минеральных удобрений: азота – от 20 до 50%; фосфора – от 20 до 60%; калия – от 10 до 40%.

В последнее время в результате микробиологических исследований было установлено, что поверхность гранул большинства распространенных форм минеральных удобрений неблагоприятна для развития бактерий, однако, некоторые виды микробов способны существовать и развиваться в данной среде, в основном это представители разных видов бацилл. Показано также, что оптимальный титр бактериальной суспензии для изготовления микробиологического препарата БисолбиФит составляет 10^7 КОЕ/мл.

При определении способности бактерий биомодифицированных минеральных удобрений колонизировать растения томата выявлено, что плотность колонизации составляет $1,1 \times 10^6$ - $3,45 \times 10^6$ КОЕ в среднем на 1 см корня. По данным эпифлуоресцентной микроскопии установлена принадлежность бактерий-колонизаторов к штамму *Bacillus subtilis* Ч13 и отмечена высокая активность заселения ими поверхности корня.

Минеральные удобрения, биомодифицированные препаратом могут быть использованы без ограничений для всех сельскохозяйственных культур, в любых климатических условиях как отдельно, так и с любыми минеральными подкормками, микроэлементами, стимуляторами, пестицидами и биопрепаратами.

Механизм действия модификатора минеральных удобрений заключается в следующем: 1) При обработке гранул минеральных удобрений происходит искусственное заселение их поверхности полезной микрофлорой, которая способна активировать питательные вещества, содержащиеся в минеральных удобрениях. Кроме того, бактерии мобилизуют и переводят в доступную для растений форму почвенные запасы азота, фосфора и калия. 2) Аминокислоты, витамины, гормоны и органические кислоты, вырабатываемые микроорганизмами, стимулируют и ускоряют физиологические процессы, происходящие в растительной клетке, увеличивают интенсивность фотосинтеза и дыхания, а также значительно укрепляют иммунную систему растения, ускоряют его развитие. 3) В процессе своей жизнедеятельности бактерии синтезируют вещества, которые блокируют развитие фитопатогенных микроорганизмов, возбудителей таких болезней как: бурая ржавчина, мучнистая роса, снежная плесень, фитофтороз, фузариоз, всевозможные бактериозы, гельминтоспориозы, корневые гнили и многие другие. Благодаря этому биомодифицированные минеральные удобрения позволяют на 5-15% увеличить урожайность сельскохозяйственных культур по сравнению с традиционными формами минеральных удобрений.

В результате нанесения бактерий на поверхность гранул минеральных удобрений образуется своего рода «биокапсула», которая одновременно выполняет сразу несколько функций: удобрительную, защитную и стимулирующую. Такой набор полезных свойств позволяет добиться значительной прибавки урожайности сельскохозяйственных культур и окупаемости минеральных удобрений.

Способ применения модификатора заключается в следующем. Биологический модификатор включают в общепринятую технологию производства минеральных удобрений и тукосмесей. Расчётное количество препарата равномерно распыляют на гранулы (после кондиционирования) или подают в смеситель.

Время перемешивания в смесителе составляет 2-4 мин. После перемешивания гранулы минеральных удобрений должны быть полностью покрыты препаратом. Норма расхода модификатора составляет 4-5 кг на 1 т минеральных удобрений.

Модификация гранул минеральных удобрений является одним из перспективных и действенных способов повышения эффективности их использования при возделывании сельскохозяйственных культур. Данный способ позволяет повысить коэффициент полезного действия минеральных удобрений на 10-40%. Кроме того, модификация почти полностью решает проблему слеживания удобрений при хранении и транспортировке.

Ниже приводятся результаты эффективности применения биомодифицированных минеральных удобрений на различных культурах, полученные в полевых опытах и производственных испытаниях.

В микрополевым опыте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с яровой пшеницей установлено, что нанесение на гранулы аммиачной селитры микробиологического препарата БисолбиФит достоверно увеличивало вынос с урожаем азота и калия и имело место тенденция повышения накопления в нём фосфора. Коэффициент использования растениями азота удобрений, определенный с применением стабильного изотопа ^{15}N увеличивался в 1,15-1,22 раза. В полевом опыте нанесение микробиологического препарата, созданного на основе штамма *Bacillus subtilis* Ч-13, улучшало азотное питание яровой пшеницы, связанное с более высокой концентрацией элементов питания в растениях в период вегетации, что положительно сказывалось на повышении урожайности зерна, при этом микробиологический препарат БисолбиФит был эффективнее при использовании аммиачной селитры в дозе 45 кг/га. Внесение под яровую пшеницу аммиачной селитры, обработанной микробиологическим препаратом, увеличивало коэффициент использования растениями азота удобрения, рассчитанного разностным методом, повышало накопление в урожае не только азота, но также фосфора и калия.

В производственных условиях на серых лесных почвах Нижегородской области, показано, что нанесение БисолбиФита на гранулы аммиачной селитры и аммофоса обеспечивало увеличение урожайности зерна яровой пшеницы на 9-15% и повышало массу 1000 зерен.

В полевых исследованиях на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве показано, что нанесение микробиологического препарата БисолбиФит на гранулы минеральных удобрений увеличивало урожайность зерна ячменя на 13 - 20% на почве с низким содержанием подвижного фосфора и на 11 - 16% с его высоким содержанием. Использование биомодифицированной диаммофоски на обеих почвах увеличивало значение хозяйственного коэффициента. Рост урожая зерна ячменя связан с изменением продуктивной кустистости, увеличением на 0,5 - 1,6 см длины колоса, а при использовании микробиологического препарата - повышением на 3 - 4 см высоты растений, что свидетельствует о ростостимулирующем влиянии микроорганизмов, входящих в состав препарата.

Использование под ячмень комплексных минеральных удобрений повышало массу 1000 зерен, при нанесении микробиологического препарата на гранулы удобрений, за исключением аммофоса, на почве с высоким содержанием подвижного фосфора происходило дальнейшее повышение этого показателя. Содержание в зерне ячменя сырого белка увеличивалось на 0,5 - 1% в результате применения обычных комплексных удобрений, внесение их биомодифицированных форм не изменяло этого показателя, поскольку происходил рост урожайности зерна и растения испытывали недостаток азота. Использование под ячмень биомодифицированных аммофоса, азофосок и диаммофоски увеличивало в урожае ячменя накопление азота на 10 - 15%, фосфора на 22% и калия на 20%, повышало коэффициент использования ячменем из удобрений азота в 1,1 - 1,5 раза, на почве с низким содержанием подвижного фосфора его значение было в 1,2 раза больше по сравнению с высокообеспеченной почвой. Использование растениями фосфора из минеральных удобрений на почве с низким содержанием этого элемента было в 1,25 раза больше по сравнению с высокообеспеченной почвой, а применение биомодификатора увеличивало значение коэффициента на 6 - 9%. Коэффициент использования растениями калия из удобрений на обеих почвах составлял 58 - 60%, и применение БисолбиФита не влияло на этот показатель.

В результате внесения в почву минеральных удобрений, обработанных БисолбиФитом увеличивались в среднем на 15% коэффициенты использования растениями элементов питания из почвы (минеральный азот: $N-NO_3 + N-NH_4$, подвижные формы P_2O_5 и K_2O).

Использование микробиологического препарата БисолбиФит путем нанесения на гранулы минеральных удобрений и обработка им семян

овощных культур обеспечивало формирование более мощной надземной и корневой массы и улучшало потребление растениями фосфора из водонерастворимых (фосфоритная мука) фосфорных удобрений.

В опытах с соей выявлено, что комплексное использование микробиологических препаратов (ризоторфин, БисолбиФит) и биомодифицированных минеральных удобрений способствовало увеличению урожайности зерна сои на 32 - 35%.

В производственных опытах максимальная прибавка урожайности зерна кукурузы наблюдалась при обработке растений микробиологическим препаратом БисолбиФит и при нанесении его на гранулы минеральных удобрений. Применение этого препарата снижало отрицательное воздействие засухи на растения

Использование микробиологического препарата БисолбиФит для обработки семенных клубней картофеля повышало его урожайность на 39%, при этом вдвое возрастала доля крупных фракций (> 6 см) с 27 до 58%, что особенно важно для производства продовольственного картофеля.

Обработка минеральных удобрений микробиологическим препаратом БисолбиФит относится к одной из наиболее эффективных с экономической точки зрения операций, позволяющая получить при выращивании сои дополнительно 16,5, а ячменя 7,5 рублей на рубль затрат.

СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСОННЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Логинова Е.С.,¹ Никольский В.М.,² Смирнова Т.И.,³
Толкачева Л.Н.⁴

¹*Тверской государственной университет, 170100, Тверь,
ул. Желябова, 33*

²*ООО МИФ «АНДРОНИК», 170002, Тверь, Садовый пер., 35,
p000797@mail.ru*

³*Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 170904,
г. Тверь, Сахарово, ул. Маршала Василевского, 7*

⁴*ООО «Экологически безопасные комплексоны», 170002, Тверь,
Спортивный пер., 11*

Известны комплексные микроэлементные удобрения, например, гуминовые с применением этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) [1]. Однако ЭДТА вызывает серьезную озабоченность своим накоплением в мировом океане. Сегодня концентрация этого хеланта в реках Европы достигает 100 мг/л, в грунтовых водах США она колеблется [2] в пределах 1 - 72 мг/л. Японские исследователи нашли [3] в морской воде содержание ЭДТА от 0,3 до 3,0 мкг/л.

Нами созданы экологически безопасные комплексоны, производные янтарной кислоты (КПЯК). Важнейшей особенностью этих комплексонов является не только способность транспортировать в биологические объекты микроэлементы в усвояемом виде, но и склонность к разрушению под действием этих биологических объектов (растений, животных) или просто на свету в условиях сброса [4].

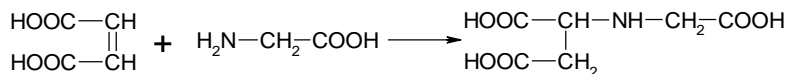
Из многочисленных путей синтеза комплексонов, производных янтарной кислоты, мы выделяем как наиболее экономичный и перспективный способ, осуществляемый по реакции присоединения аминокислот или аммиака, по двойной связи малеиновой кислоты.

Достоинством такого приёма является отсутствие побочных реакций и то, что единственным продуктом реакции является получаемый комплексон [5].

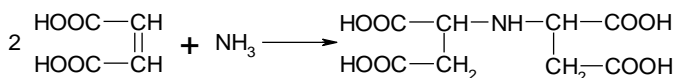
При проведении синтеза КПЯК по этому способу требуется лишь такой дешёвый и освоенный промышленностью продукт, как малеиновая кислота (или еще более дешёвый малеиновый ангидрид). Например, иминодиантарная кислота (ИДЯК), получаемая из аммиака и малеиновой кислоты, по стоимости производства может конкурировать с традиционными комплексонами [6]. Присоединением к малеиновой кислоте по аминокислотной группе аминокислоты может быть получена (карбоксиметил) аминокислота (КМАК), а взаимодействием

малеиновой кислоты с иминодиуксусной кислотой получается бис(карбоксиметил)аминоянтарная кислота (БКАК).

Иллюстрацией метода присоединения аминокислот по двойной связи малеиновой кислоты с получением моноаминных комплексов может служить синтез КМАК:



Моноаминный комплексон, содержащий у одного атома азота сразу два сукцинат-радикала, – ИДЯК может быть получен взаимодействием малеиновой кислоты с аммиаком:



По аналогичной схеме синтезирован также и диаминный комплексон гексаметилендиаминдиантарная кислота (ГМДЯК), содержащий сукцинат-радикалы у двух атомов азота, соединённых посредством 6 метиленовых групп. Этот синтез нами осуществлялся присоединением двух молекул малеиновой кислоты к 1,6-гександиамину [7].

На базе синтезированных КПЯК разработаны рецептуры стимуляторов роста растений и микроэлементных удобрений. Так, замачивание семян, например, шпината, фасоли, пшеницы в растворе, содержащем $1,5 \times 10^{-4}$ моль/л иминодиантарной кислоты, обеспечивает увеличение содержания хлорофиллов до 84% [8]. В таких же условиях применение раствора ИДЯК в составе комплекса с магнием и цинком в 1,5 раза эффективнее использования раствора индивидуального комплексона в процессе воспроизводства хлорофилла растениями [9]. Предпосевная обработка семян в сопровождении с опрыскиванием всходов раствором боратинодисукцинатного комплекса обеспечивает не только увеличение на 80-90% биомассы растений, например, шпината и укропа, но и значительный прирост (16-17%) хлорофилла и каротиноидов в шпинате или 80% хлорофилла и 30% каротиноидов в укропе [10]. Иминодиантарная кислота использована нами и для получения гуминовых стимуляторов роста, являющихся биологически разлагаемыми продуктами, которые применяются в качестве экологически чистого высокоэффективного удобрения [11].

Другой представитель КПЯК, этилендиаминдиантарная кислота (ЭДДЯК), использована нами в качестве хеланта для растворения яичной скорлупы, состоящей на 90% из карбоната кальция в присутствии соединений еще 26 микро- и макроэлементов. Полученный

высокоминерализованный комплекс с повышенной биологической ценностью не только во много раз эффективнее в качестве удобрения, чем сама скорлупа яиц в твердом виде, но и служит сырьем для создания биологически активных композиций в фармацевтической промышленности [12].

Отработанный антикор по одному из наших патентов [13] предложен нами к утилизации путем переработки на комплексное удобрение, содержащее фосфор и азот, авторство которого также закреплено патентом [14].

Ключевое преимущество созданных нами мощных биопрепаратов на основе КПЯК заключается в том, что они безопасны для окружающей среды и, попадая в состав сельскохозяйственных продуктов, не нарушают их вкусовых и диетических свойств. По эффективности воздействия на растения наши препараты превосходят все другие формы доставки микроэлементов в растения в 2-5 раз и не только осуществляют транспортировку этих необходимых микроэлементов в ткани растений, но и сами разлагаются растениями и солнечным светом на усвояемые аминокислоты.

Наши разработки соответствуют мировой тенденции в деле создания новых высокоэффективных экологически безопасных комплексных удобрений [15, 16].

Литература

1. Попов А.И., Шипов В.П., Трофимов В.А. *Патент 2178777 РФ*, 2002.
2. Капаруллина Е.Н., Доронина Н.В., Ежов В.А. *Прикладная биохимия и микробиология*, 2012, 48, 437.
3. Kemmei T., Kodama S., Fujishima H. *Analit. Chim. Acta*, 2012, 709, 54.
4. Nyvonen H., Aksela R. *J. Coord. Chem.*, 2012, 65, 19, 3352.
5. Логинова Е.С., Никольский В.М., Толкачева Л.Н. *Известия Академии наук. Серия химическая*, 2016, 9, 2238.
6. Толкачева Л.Н., Никольский В.М. *Журнал физической химии*, 2013, 87, 9, 1513.
7. Яковлев А., Никольский В., Толкачева Л. *Патент 2527271 РФ*, 2014.
8. Никольский В., Смирнова Т., Светогоров Ю. *Патент 2399183 РФ*, 2010.
9. Никольский В., Толкачева Л., Яковлев А. *Патент 2552056 РФ*, 2015.
10. Смирнова Т., Малахаев Е., Никольский В. *Патент 2567190 РФ*, 2015.
11. Яковлев А., Никольский В., Толкачева Л. *Патент 2577891 РФ*, 2016.
12. Копич Н., Никольский В., Логинова Е. *Патент 2543352 РФ*, 2015.
13. Никольский В., Логинова Е., Яковлев А. *Патент 2565170 РФ*, 2015.
14. Логинова Е., Лукьянова Н., Никольский В. *Патент 2577888 РФ*, 2016.
15. Aksela R., Peltonen J., Vekman A. *WO 2004/110961*, 2004.
16. Аксела Р., Пелтонен Я., Векман А. *Патент 2345975 РФ*, 2009.

ПРИМЕНЕНИЕ ОКСИДА ЭТИЛЕНА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Петропавловский А.А.,¹ Бекбаев А.С.,¹ Черничкин Р.В.^{1,2}

¹ООО «СтериПак Сервис», 117246, г. Москва, Научный пр., д.10,
ap@steri-pack.ru

²Российский государственный аграрный университет МСХА
им. К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Введение. Оксид этилена нашел широкое применение в различных отраслях промышленности и народного хозяйства. В данном докладе будут рассмотрены вопросы возможные перспективы применения в сельском хозяйстве и необходимые меры безопасности при работе с оксидом этилена.

Обзор литературы. Окись этилена (этиленоксид, оксиран, 1,2-эпоксидан) – органическое химическое гетероциклическое вещество, химическая формула C_2H_4O . При нормальных условиях – бесцветный газ с характерным сладковатым запахом. Производное этилена и представляет собой простейший эпоксид – трёхчленный гетероцикл в кольцевой молекуле которого содержатся один атом кислорода и два атома углерода.

Окись этилена обладает дезинфицирующими свойствами, то есть, является сильным ядом для большинства известных микроорганизмов и даже в газообразном виде, что используется для газовой стерилизации, например, одноразовых медицинских шприцов.

В химической промышленности окись этилена получают прямым окислением этилена в присутствии серебряного катализатора.

Оксид этилена является одним из крупнейших по объёму органических полупродуктов мирового химического производства, уступая по данным на 2008 год лишь этилену, пропилену, эталону и некоторым другим веществам.

Производство окиси этилена в России осуществляется на следующих предприятиях (см. рисунок 1)

– ПАО «Нижекамскнефтехим» (г. Нижнекамск, Республика Татарстан);

– ОАО «Сибур-Нефтехим» (Завод окиси этилена и гликолей, г. Дзержинск, Нижегородская область);

– ОАО «Казаньоргсинтез» (Завод «Оргпродукты», г. Казань, Республика Татарстан) [1].



Рисунок 1. Долевая структура производителей окиси этилена в России в 2008 году [1]

При обычной температуре окись этилена – газ (т. кип. 11 °С), транспортируют же ее в жидком виде под давлением. Окись этилена токсична, а поэтому ее используют в значительных масштабах для фумигации. Вследствие легкости, с которой окись этилена улетучивается из окуранных объектов, ею особенно удобно фумигировать пищевые продукты [2].

В Российской Федерации оксид этилена в сельском хозяйстве используется редко, однако, в настоящее время он все чаще находит свое применение в отдельных областях сельхозпроизводства.

Основным направлением, в котором окись этилена себя отлично зарекомендовала – это фумигация посевного материала, кормов, пищевых продуктов и табака. Данная мера очень эффективна при ввозе продукции из-за рубежа в условиях карантина.

Данная технология запатентована в РФ и показывает отличные результаты на практике. Семена овощной культуры засыпают в бумажные или газопроницаемые полиэтиленовые пакеты и выдерживают при температуре 55 °С и влажности 57% в течение 180 минут. Затем пакеты с семенами помещают в атмосферу газовой смеси, состоящей на 10-20% из оксида этилена и на 90-80% из двуокиси углерода, где содержат под давлением 0,8-1,3 бар при температуре 55 °С и влажности 57% в течение 30-45 минут. Несмотря на простоту технологии, поверхность обработанных семян оказывается практически свободной от микроорганизмов и их спор [3].

Эффективность процесса газовой стерилизации семян доказана на индау посевном, двуряднике тонколистном и кресс-салате [4].

В данном случае необходимо тщательно организовать процесс дегазации и аэрации фумигированной продукции, так как рассматриваемое вещество имеет тенденцию незначительно накапливаться в продукции.

Наряду с фумигацией продуктов и семян оксид этилена применяется для обработки складских помещений перед закладкой продукции сельского хозяйства на хранение.

Чипирование сельскохозяйственных животных в РФ становится все более популярной практикой. Чипирование животных – процесс введения под кожу животного микрочипа, содержащего уникальный идентификатор. Микрочип для имплантации представляет собой интегральную микросхему, размером с большое рисовое зёрнышко, и использует пассивную технологию автоматической идентификации объектов, в которой посредством радиосигналов считываются или записываются данные [5. 6].

Во избежание внесения инфекций и различных болезней все микрочипы, внедряемые под кожу животных, проходят процедуру стерилизации. Так как микросхемы нельзя стерилизовать паром и радиоактивным излучением, чаще всего для данной процедуры применяют оксид этилена. Стерилизация осуществляется в специальных стерилизационных камерах-стерилизаторах, где создаются необходимые условия влажности, температуры, давления и времени выдержки оксида этилена, безвредные для электрических устройств. Рекомендуемые условия стерилизации микрочипов составляют 37 °С, время экспозиции-180 минут и 12 часов обязательной аэрации изделий в камере или специальном помещении.

Пчеловодство является одним из направлений применения этилен оксида в сельском хозяйстве.

Дезинфекция газами по сравнению с обеззараживанием дезинфицирующими растворами имеет ряд преимуществ: газы легко проникают во все ячейки сотов, а также между рубашками коконов, оставшихся в ячейках после линьки личинок пчел, в различные щели ульев и легко улетучиваются; происходит это при невысоких температурах, что не нарушает соты и вошину; этот вид дезинфекции менее трудоемок и не вызывает коррозии металлов.

За последние годы для обеззараживания самых разнообразных объектов пчеловодства испытаны окись этилена, бромистый метил (CH_3Br), смеси газов - карбоксид, Т-газ, криоксид, оксифюм-20, ОБ и другие. Все они оказались весьма эффективными обеззараживающими веществами.

Из газообразных средств для дезинфекции различных объектов пчеловодства могут быть использованы: окись этилена, бромистый метил и предложенная А. Г. Прищепом взрывобезопасная смесь этих газов 1,0:1,4 по весу (эту смесь условно обозначают «ОБ»).

Дезинфекцию в условиях пасеки осуществляют летом на воздухе в вакуумной камере без подогрева и под газонепроницаемой пленкой марки ПК-4. Под пленку одновременно можно помещать до 10 ульев с сотами.

Обеззараживанию подлежат ульи, рамки, гнездовые и магазинные соты, сушь разных сроков использования, листы искусственной вошины, мелкий пчеловодный инвентарь, дымари, роевни, маточные клеточки, спецодежда пчеловода, ульевые холстики и наволочки утеплительных подушек [7].

Методика обнаружения окиси этилена в сотах и других объектах пчеловодства. Чтобы обнаружить окись этилена, кусочки сотов размерами 0,5×0,5 см помещают в пробирки и наливают туда насыщенный водный раствор хлористого лития.

В качестве индикатора добавляют фенолфталеин. Пробирки закрывают резиновыми пробками и ставят в термостат с температурой 56 °С на 3 часа. Розовое окрашивание раствора свидетельствует о выделении (о присутствии) окиси этилена [8].

Меры безопасности при работе оксидом этилена. К дезинфекции газами допускаются лица не моложе 18 лет, физически здоровые, специально подготовленные для работы, умеющие пользоваться защитными средствами и приспособлениями и оказывать первую помощь.

Перед началом работы нужно надеть комбинезон, резиновые сапоги, хирургические перчатки и противогаз с фильтрующей коробкой марки А (коричневого цвета), рассчитанной на работу в условиях концентрации бромистого метила в воздухе 33 г/м³ в течение 20 минут. Противогазы закрепляют индивидуально за каждым работающим; шлем противогаза тщательно подбирают по размеру головы.

Место, где проводят газацию, должно быть удалено от производственных зданий и жилых помещений не менее чем на 50 м. Обычно дезинфекцию газами проводят летом, осуществляют ее работники предприятия под наблюдением ветеринарного врача. В период газации на границе защитной зоны обязательно вывешивают предупредительные знаки и аншлаги: «Вход воспрещен», «Опасно-ядовитый газ» и другие. Открытую площадку круглосуточно охраняют. Сторож обязан находиться на расстоянии 30 м от объекта (предварительно его инструктируют по технике безопасности и обеспечивают противогазом).

Допуск лиц, не имеющих прямого отношения к работе по газации, в охраняемую зону категорически запрещается.

По окончании работы спецодежду необходимо промыть, просушить, проветрить. Обслуживающий персонал должен прополоскать водой рот, вымыть лицо и руки или принять душ [7].

Заключение. Оксид этилена в основном применяется для фумигации семян перед посадкой, хранящейся продукции, производственных и складских помещений. Также он нашел свое применение в пчеловодстве, чипировании животных и иных отраслях сельского хозяйства.

Основным ограничением для использования этиленоксида в сельхозпроизводстве является его токсичность для человека и животных.

Следует строго соблюдать меры безопасности при работе с оксидом этилена.

Литература

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Окись_этилена – электронный ресурс.
2. Шемякин, М.М. Химия антибиотических веществ / М.М. Шемякин и А.С. Хохлов. - М. ; Л. : Гос. научно-техн. изд-во хим. лит., 1949. - 454 с.
3. Патент № 2404564; Способ обеззараживания семян овощных культур от патогенной инфекции.
4. Куршева Ж. В. Биологические особенности и основные приемы возделывания индау посевного, двурядника тонколистного и кресс-салата в условиях 5. Московской области». Дисс. на соиск. уч. степ. к.с-х.н., 2009.
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Чипирование_животных – электронный ресурс.
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/RFID> – электронный ресурс.
7. <http://www.meedov.ru/beeillness/chemicals/17.html> – электронный ресурс.
8. <http://www.meedov.ru/beeillness/chemicals/18.html> – электронный ресурс.

ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫЙ ПРЕПАРАТ ГЕОТОН – ИННОВАЦИОННАЯ РАЗРАБОТКА ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

**Ратников А.Н., Свириденко Д.Г., Петров К.В., Суслов А.А.,
Попова Г.И.**

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», 249032, Калужская область, г. Обнинск,
Киевское шоссе, 109 км ratnikov-51@mail.ru*

В настоящее время в сельском хозяйстве России площадь зерновых и зернобобовых культур составляет 46,1 млн. га, картофеля 2,13 млн. га, овощей 0,67 млн. га, подсолнечника 7,2 млн. га и сахарной свеклы 0,9 млн. га. Для успешного ведения сельскохозяйственного производства необходимо иметь дополнительно около 20 млн. тонн удобрений. За последние годы внесение минеральных и органических удобрений сократилось и составило 25-30% от потребности. На 1 га пашни в России удобрений вносится 20-25 кг д.в., в Великобритании и Вьетнаме - более 285 кг д.в., в Китае - свыше 255, ФРГ - 228, Республике Беларусь - 129, Индии — 98,6. В России вынос питательных веществ из почвы ежегодно в 4-5 раз превышает поступление их с удобрениями. Главной задачей для агропромышленного производства РФ является обеспечение недорогими органо-минеральными препаратами на основе местного сырья, способными повысить урожайность сельскохозяйственных культур, устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов и обеспечить получение продукции, соответствующей нормативам (СанПиН 2.3.2.2650–10). Препараты должны отличаться универсальностью и предназначаться для всех видов сельскохозяйственных культур в любых почвенно-климатических зонах, рекомендованы на всех стадиях роста и развития растений, в том числе для предпосевной обработки семян. В РФ для производства удобрений, содержащих гуминовые вещества, чаще всего используют сапропель, каменный и бурый уголь, торф. Разработчики и ведущие организации по производству гуминовых препаратов: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (ФГБНУ ВНИИА РАН), ООО НВП БашИнком, ООО Авелини Россия, Фарт ООО МГНН г. Санкт-Петербург, Сибирский НИИ торфа, ООО «Аграрные технологии».

Во Всероссийском научно-исследовательском институте радиологии и агроэкологии ФГБНУ ВНИИРАЭ (г. Обнинск) разработан новый биологически активный органо-минеральный препарат на основе торфа «ГЕОТОН». ГЕОТОН представляет собой жидкий концентрат с содержанием азота (N) – 9-14%, фосфора (P₂O₅) – 23-25%, калия (K₂O) – 23-29%. Содержание органического вещества 32-45%, в том числе

гуматов калия 9-12%. ГЕОТОН не имеет запаха, безвреден при использовании, хорошо растворим в воде, совместим с большинством используемых минеральных удобрений и средств защиты растений. ГЕОТОН предназначен:

- для предпосевной обработки семян, в том числе клубней картофеля;

- для поверхностной обработки вегетирующих растений (зерновые, овощные, кормовые, технические культуры, картофель) в периоды максимального роста и потребности растений в питательных элементах: 1-2 раза за вегетационный период, с целью увеличения урожайности, ускорения созревания, повышения устойчивости растений к воздействию неблагоприятных факторов, улучшения качества производимой продукции, в том числе снижения содержания радионуклидов и тяжелых металлов. ГЕОТОН применяется в малых дозах – 1,0 л/га (1 л концентрата на 300 л воды). При предпосевной обработке семенного материала концентрат разводится в соотношении 1:40 (250 мл ГЕОТОНа на 10 л воды на 1 тонну семян). Возможно применение совместно с инсектицидами и препаратами для протравливания семян от возбудителей болезней. ГЕОТОН защищен патентом Российской Федерации № 2490241 от 20.08.2013 г. [1, 2, 3, 4].

Ассортимент удобрений и препаратов, содержащих гуминовые вещества, производимых в Российской Федерации, невелик (таблица 1).

Таблица 1. Применяемы в РФ препараты, содержащие гуминовые вещества [5, 6, 7, 8,9]

Название применяемого препарата	Содержание, %			
	Гуматов	N (азота общего)	P ₂ O ₅	K ₂ O
Гуминовое удобрение ЭДАГУМ®СМ	3,0-3,5			
Жидкой препарат Гумистим, стимулятор роста растений на основе торфа (разработчик – Сибирский НИИ торфа)	4,5-4,8			
Комплексное гуминовое удобрение Теллура – М	0,8	0,12	0,5	0,3
Комплексное гуминовое удобрение Феникс	2,5	1,2	0,5	0,3
Жидкое гуминовое органо-минеральное удобрение ГУМАТ КАЛИЯ торфяной жидкий	8	0,035	0,146	-
СТИМУЛАЙФ – жидкое органо-минеральное удобрение	1,8-2,0			
Сухое торфо-гуминовое удобрение «ФЛОРА-С»	1,2			
<i>ООО «Аграрные технологии»:</i> Гуматизированная мочевина	1,8-2	46,2		
Гуматизированный суперфосфат	2,8		20	
ГЕОТОН	9-12	9-14	23-25	23-29

Из всех имеющихся на настоящий момент гуминовых удобрений и препаратов только ГЕОТОН имеет максимальное содержание гуматов - свыше 9%, а также содержит легкоусваиваемые элементы минерального питания растений - азот, фосфор и калий. ГЕОТОН не имеет аналогов в мире. Применение ГЕОТОНа на различных типах почв повышает урожайность: зерновых культур – на 10-45%, овощных культур и картофеля – на 13-36%, кукурузы – на 25%, сахарной свеклы – на 25-40%. Испытания ГЕОТОНа при выращивании листового салата и редиса на радиоактивно загрязненной почве показали, что обработка вегетирующих растений препаратом снижает накопление ^{137}Cs в продукции от 2,0 до 4,5 раза. *Социальный аспект* применения ГЕОТОНа на радиоактивно загрязненных в результате аварии на ЧАЭС территориях сводится к уменьшению дозы внутреннего облучения населения за счет молочной компоненты в 2,5 раза. Полученная на территориях с плотностью загрязнения ^{137}Cs до 950 кБк/м² продукция растениеводства (зерно, картофель) является экологически безопасной и может быть реализована за пределами данного региона.

Применение ГЕОТОНа на посевах зерновых культур (ячмень, овес) на дерново-подзолистой супесчаной почве способствует снижению перехода ТМ (Cd, Pb, Ni) из загрязненной почвы в зерно в 1,3-1,9 раза. Эффективность препарата при поверхностной обработке вегетирующих растений проявляется также и в улучшении качества зерна, картофеля и овощей по содержанию белка, крахмала, сахара и витаминов [3, 4]. ГЕОТОН снижает уровень распространения бактериальных и грибковых заболеваний; снимает стресс после применения пестицидов, не оказывает негативного влияния на окружающую среду, не токсичен для человека и животных, рекомендуется к использованию на угодьях, выведенных ранее из землепользования.

Полученные результаты отражены в Технологических схемах возделывания зерновых культур, картофеля, овощей и кукурузы с применением ГЕОТОНа. Разработанные Технологические приемы применения ГЕОТОНа обеспечивают получение продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам по содержанию ^{137}Cs , Cd и Pb (СанПиН 2.3.2. 2650–10) [1, 2]. Эффективность ГЕОТОНа в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур представлена на рисунке 1.

Широкое применение ГЕОТОНа позволит в значительной степени импортозаместить продукцию массового спроса (зерно, овощи, картофель, корма для животных) на внутреннем рынке. Результаты исследований по применению ГЕОТОНа соответствуют Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ. Важным результатом широкого применения препарата в сельском хозяйстве является снижение затрат на приобретение дорогостоящих минеральных удобрений. Немаловажный аспект – доступность и низкая

стоимость торфа. Разведанные запасы составляют 2227 млн. тонн. Крупные месторождения торфа есть в Орловской, Калужской, Ростовской, Ульяновской, Челябинской, Свердловской, Мурманской областях, в Приморском крае и Мордовии. Разведанные запасы торфа в РФ составляют 162,5 млрд. тонн при годовой добыче – 6,9 млн. т.

На базе ВНИИРАЭ создана технологическая линия по производству ГЕОТОНа. Научно-техническое сопровождение значительно повышает конкурентоспособность разработанного препарата и включает в себя: аккредитованную лабораторию по проведению анализов образцов препарата; исследовательские лаборатории ФГНУ ВНИИРАЭ; стандартное лабораторное оборудование (центрифуги, термостаты, автоклавы, микроскопы и др.); экспериментальные поля ФГНУ ВНИИРАЭ, для проверки качества ГЕОТОНа в полевых условиях на различных культурах; конструкторские и производственные мощности ООО «НПП «БИОГЕОТОНа»; кадровый состав ФГНУ ВНИИРАЭ и ООО «НПП «БИОГЕОТОНа». ООО "Научное Производственное Предприятие "БИОГЕОТОН" (г. Обнинск) является научно-производственным объединением, выступает в качестве исполнителя по изготовлению линии для получения ГЕОТОНа. При максимальной производительности линии по выпуску ГЕОТОНа планируется обеспечить порядка 3% рынка недостающих удобрений.



Рисунок 1. Обобщенная оценка эффективности ГЕОТОНа на различных культурах

Проведенные на примере Калужской области исследования показывают, что использование нового органо-минерального комплекса ГЕОТОН является экономически эффективным приемом в технологии возделывания зерновых культур и картофеля. В денежном эквиваленте чистая прибыль от использования препарата на 1 га составляет 96,3 тыс.

руб. при стандартном налогообложении и 154,2 тыс. руб. – при применении Единого сельскохозяйственного налога - в ценах 2014 г.¹⁰. Наиболее острой проблемой в сфере производства и продаж препарата является недостаток средств у ВНИИРАЭ для расширения производственных мощностей; отсутствие средств на рекламу препарата сельскохозяйственным производствам, личным подсобным хозяйствам, лесным и муниципальным хозяйствам. Серьезной проблемой является организация продаж крупных партий ГЕОТОНа на внутреннем и внешнем рынках.

Широкое применение органо-минерального препарата на основе торфа ГЕОТОН, в том числе на техногенно загрязненных угодьях, позволит улучшить экологическую обстановку в агрофере, использовать возможность занять ниши на новых рынках экспорта отечественной экологически безопасной продукции. Интерес к покупке и использованию ГЕОТОНа велик у руководителей хозяйств и сельскохозяйственных предприятий различных форм собственности. Отсутствие мировых аналогов, низкая себестоимость, малые дозы и легкость применения, возможность использования совместно с другими препаратами, имеют огромное значение для инновационного развития и модернизации сельского хозяйства РФ. Заключены контракты на поставку ГЕОТОНа. Есть заинтересованность Министерств сельского хозяйства Калужской, Тульской, Курской, Брянской, Белгородской областей во внедрении данного продукта. Широкое использование ГЕОТОНа в растениеводстве потребует разработки Системы машин для внесения в почву жидких гуминовых удобрений. Это станет толчком к развитию отечественного сельскохозяйственного машиностроения.

Применение препарата на основе торфа ГЕОТОН способствует поддержанию и повышению плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур (зерновых, картофеля, овощных, кормовых культур, кукурузы, сахарной свеклы), повышению качества продукции (снижению содержания нитратов в овощах и клубнях картофеля на 10%, повышению содержания протеина в зерне зерновых культур на 1,0-2,5% и крахмала в клубнях картофеля на 10%) [1, 2, 3, 4]. Рациональное использование техногенно загрязненных угодий для развития отечественного семеноводства зерновых и кормовых культур с внедрением инновационных технологий, будет способствовать возрождению сельского хозяйства страны, повышению экологической безопасности, увеличению продолжительности и повышению качества жизни населения. Для расширения производства и широкого внедрения ГЕОТОНа ВНИИРАЭ нуждается в высококвалифицированных химиках, технологах, почвоведех, агрохимиках, экономистах, логистиках и специалистах в области маркетинга. Дальнейшее проведение научно-производственных исследований позволяет усовершенствовать

технологии применения ГЕОТОНа и увеличить объемы его производства.

Внедрение ГЕОТОНа в агропромышленное производство РФ будет способствовать технологическому прорыву в целях продовольственной безопасности России, увеличению количества и качества отечественной продукции сельского хозяйства и пищевой промышленности, а также замене импортных химических, биологических удобрений и стимуляторов роста.

Литература

1. Ратников А.Н., Санжарова Н.И., Жигарева Т.Л., Попова Г.И., Свириденко Д.Г., Петров К.В. Технологические приемы возделывания картофеля, овощных культур с использованием новых комплексных удобрений, Обнинск, 2015 г. 39 с.
2. Ратников А.Н., Санжарова Н.И., Жигарева Т.Л., Петров К.В., Свириденко Д.Г., Попова Г.И., Лашкиба Н.А., Иванов И.А., Семешкина П.С., Дадаева Т.А., Амелюшкина Т.А., Мазуров М.В. Применение нового биологически активного органо-минерального комплекса ГЕОТОН в технологиях возделывания зерновых культур и кукурузы. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2015. 19 с.
3. А.Н. Ратников, Н.И. Санжарова, Т.Л. Жигарева, Д.Г. Свириденко, Г.И. Попова, К.В. Петров, С.Н. Бочкарев Разработка и апробация новых комплексных органо-минеральных удобрений // Материалы научно-практической конференции: «Новые перспективные комплексные удобрения для сельскохозяйственного производства» (разработка, опыт применения, эффективность)». 9 ноября 2012 г. / Под ред. А.Н. Ратникова, В.Н. Мазурова. Обнинск: ГНУ ВНИИСХРАЭ Россельхозакадемии. 2013. С. 7-23.
4. Ратников А.Н., Свириденко Д.Г., Жигарева Т.Л., Попова Г.И., Петров К.В., Баланова О.Ю., Мазуров В.Н. Новый органо-минеральный комплекс ГЕОТОН: применение в сельском хозяйстве // Экологические проблемы использования органических удобрений в земледелии. Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Владимир: ФГБНУ ВНИИОУ, 2015 г. С. 202-211.
5. Гуминовые препараты «Аграрные технологии» // Арсентьевские вести от 25 ноября 2009, Изд-во «Водолей». № 47 (871).
6. Гуматы в сельском хозяйстве (по кн. Бориса Левинского «Все о гуматах») Изд-во НАТ ЧП «Агровектор-Украина», 2011 // <http://agrovektor.com/art>
7. Гумат порошок // Агроновости – сельское хозяйство в России и за рубежом, 2012. // <http://agro-new.ru>.
8. Н.М. Неганова Применение гуминовых удобрений под декоративные культуры // Агрехимический вестник, 2011 № 6. С. 19-21.
9. М.М. Овчаренко Гуматы – активаторы продуктивности сельскохозяйственных культур, 2011 // <http://peterpeat.ru>.
10. Панов А.В., Жигарева Т.Л., Ратников А.Н., Лой О.В. Экономическая оценка эффективности применения органо-минерального комплекса ГЕОТОН при возделывании картофеля // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий, 2014. № 3. С. 26-29.

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА БЫСТРОРАСТВОРИМЫХ УДОБРЕНИЙ ДЛЯ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

Хамизов Р. Х.,¹ Мясоедов Б. Ф.,² Конов М.А.³

¹ *Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского
РАН, 119991, Москва, ул. Косыгина, 19, khamiz@mail.ru*

² *Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
119071, Москва, Ленинский пр. 31,*

³ *ОАО «НПП «Радий», 125315, Москва, ул. Часовая, 28*

Введение

В современных технологиях интенсивного растениеводства применяются водорастворимые минеральные удобрения. Сбалансированные смеси таких удобрений обеспечивают комплексное питание растений азотом, фосфором, калием, а также микроэлементами. Основные области применения: гидропоника, листовая и корневая подкормка плодов и овощей, цветочных растений, капельное орошение шпалерных яблоневых садов. Будучи одним из крупнейших мировых экспортеров обычных минеральных удобрений, Россия остается импортозависимой от поставок водорастворимых удобрений (ВУ) из европейских стран. Российский рынок формируется, в основном, за счет импортных поставок. Крупнейшими поставщиками ВУ в Россию являются: Бельгия (Nu3 N.V. Co), Израиль (HAIFA CHEMICALS LTD), Нидерланды/Норвегия (YARA INTERNATIONAL) и Италия (VALAGRO). На совокупную долю вышеперечисленных стран приходится 70% от общего объема импорта ВУ. Водорастворимые, в частности, быстрорастворимые удобрения по содержанию многих примесей близки к химически чистым веществам, их производство требует применения сложных и дорогостоящих технологических переделов. Понятно, что для обеспечения импортозамещения необходимы инновационные и конкурентоспособные технологии их производства.

Предложенная технология основана на результатах фундаментальных исследований, которые проводились в течение многих лет в ГЕОХИ РАН, в том числе: открытом ее авторами явлении стабилизации пересыщенных растворов в сорбционном слое [1, 2] и новых методах разделении кислот и солей в нанопористых средах [3, 4].

Дальнейшее развитие технология получила в АО НПП «Радий» и связанных с ним организациях. Были успешно проведены стендовые и пилотные испытания в НИУИФ (Фосагро), на заводе БМУ (Еврохим). В ООО «НьюКем Текнолоджи» разработана технологическая часть проекта завода на производство 50 тыс тонн год быстрорастворимых

удобрений, включая монокалийфосфат и моноаммонийфосфат, нитрат и сульфат калия, а также сульфат магния.

В докладе изложены основные результаты исследований по разработке новых процессов и технологий на их основе.

Новый процесс разделения кислот и солей. Научные основы

Процесс получения продуктов, в частности, фосфорсодержащих удобрений включает две основные стадии: очистку экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) с попутным извлечением концентрата РЗМ и ионообменную конверсию солей калия и аммония в условиях образования коллоидных систем. Технология очистки ЭФК потребовала разработки нового способа разделения кислот и солей в концентрированных смешанных растворах.

Давно известен весьма необычный эффект удерживания кислоты в хроматографических колонках по сравнению с ее солями [5]. Этот эффект называют кислотным удерживанием (Acid Retardation), а процессы разделения на его основе – AR-процессами. Простые циклические AR-процессы основаны на том, что на первой стадии каждого цикла смешанный раствор кислоты и соли пропускают через слой инертного нанопористого материала, например, сверхсшитого полимера или гелевого анионита в равновесной с раствором ионной форме (во избежание ионообменных процессов). При этом происходит разделение: кислота некоторое время остается в колонне, в то время как раствор соли без задержки проходит через слой сорбционного материала. На второй стадии каждого цикла (после «проскока» кислоты) через колонну пропускают воду, и кислота вытесняется обратно, но уже в очищенном виде.

К сожалению, такие процессы малоприменимы для практики, если речь не идет о нитратных или хлоридных кислых смешанных растворах, не содержащих компонентов, приводящих к образованию малорастворимых соединений в нейтральной среде. Это связано с тем, что сам процесс разделения предусматривает попадание солей в нейтральный раствор из-за отделения от кислоты на стадии ее удерживания. Если взять, например, раствор экстракционной фосфорной кислоты, то любое воздействие на нее, например, добавление ничтожных количеств щелочных агентов или даже разбавление водой, немедленно приводит к появлению фосфатных осадков. Именно поэтому попытки использовать описанную выше стандартную технику простых AR-процессов для переработки ЭФК оказываются безуспешными. В слое ионита осаждаются малорастворимые вещества.

Решение проблемы было начато с изучения механизма AR-разделения, по поводу которого не было единого мнения [6]. Было показано [7, 8], что удерживание кислот из концентрированных

смешанных растворов электролитов в AR-процессе определяется размерным фактором. В фазе сорбционного материала в условиях с низкой диэлектрической проницаемостью, кислоты, представляющие собой частицы меньшего размера: молекулы или сильносвязанные и слабогидратированные ионные пары, проникают в нанопоры и удерживаются там за счет молекулярной сорбции или сил конкурентной сольватации. Сильно гидратированные слабосвязанные ионные пары солей, имеющие большие размеры, практически не могут проникать в нанопоры. Проведенные ранее исследования механизма другого процесса, а именно, явления изотермического перенасыщения в пористых средах [1, 2] показали, что малорастворимые соединения солей в виде устойчивых коллоидных частиц иммобилизуются на поверхности гранул пористого материала, образуя тонкие динамические пленки. Эти коллоиды, имея избыточный заряд на своей поверхности, сольватируются любыми полярными молекулами, в том числе, кислотой, незначительное исходное количество которой в порозном пространстве способно обеспечить большую концентрацию в динамической пленке и предотвратить образование твердых фаз. Это открывает путь к созданию пригодного к практическому применению в сложных системах модифицированного AR - метода, в котором вместо воды на стадиях вытеснения очищенной ЭФК используется весьма разбавленный раствор фосфорной кислоты.

Первая стадия технологии. Очистка ЭФК новым способом

Лабораторные и стендовые испытания, проведенные в ГЕОХИ РАН и НИУИФ им. В.Я. Самойлова, полностью подтвердили возможность очистки экстракционной фосфорной кислоты с помощью предложенного AR-процесса в колоннах с нанопористыми средами. При использовании, например, сильноосновного гелевого анионита типа АВ-17, его один раз приводят в равновесие с исходной ЭФК, промывают разбавленной (0.1 М фосфорной кислотой) и далее используют для проведения рабочих циклов. Вначале, через колонну в направлении снизу-вверх пропускают исходную ЭФК. При этом из колонны вытесняется разбавленная фосфорная кислота, возвращаемая на следующий цикл (зона I на рисунке), а затем - солевой раствор (зона II), направляемый на попутное извлечение РЗЭ. На следующей стадии через колонну в противоположном направлении пропускают разбавленный раствор фосфорной кислоты с вытеснением возвращаемого в голову процесса исходного раствора ЭФК из порозного пространства (III), а затем - очищенной ЭФК (зона IV). Один раз через каждые 5-6 рабочих циклов проводят более длительный (полный) цикл с получением глубоко очищенной разбавленной фосфорной кислоты, которую дополнительно разбавляют и используют в последующих циклах в качестве вытесняющего агента. В солевом

растворе накапливаются РЗЭ, попутно извлекаемые с получением смешанных оксидов.⁴

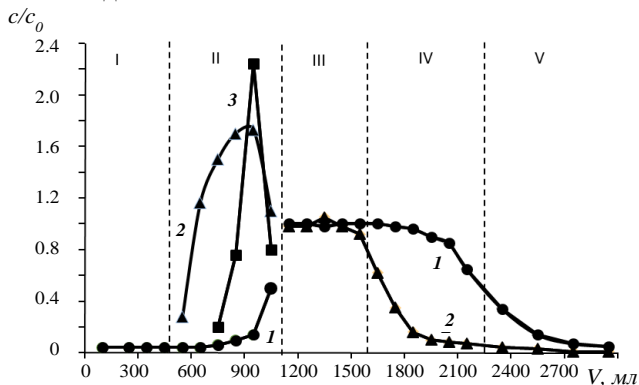


Рисунок. Концентрации компонентов в выходящем из колонны растворе в процессе переработки ЭФК на анионите АВ-17. Зоны I и II соответствуют стадии удерживания кислоты, III – V - стадии вытеснения. 1 – фосфорная кислота, 2 – Ca+Mg, 3 – Ce+Nd.

В АО «НПП Радий» была изготовлена пилотная установка, которая в течение длительного времени проходила испытания на заводе минеральных удобрений в г. Белореченск (Еврохим – БМУ). В таблице представлены отдельные результаты таких испытаний

Таблица 1. Некоторые результаты пилотных испытаний

Компоненты, содерж., %	Исходная ЭФК	ЭФК, очищенная в последовательных циклах					
		1	2	3	4	5	6
P ₂ O ₅	25.4	21.84	23.02	22.49	22.02	22.67	23.01
MgO	1.01	0.09	0.08	0.11	0.07	0.06	0.06
CaO	0.47	0.03	0.03	0.04	0.01	0.02	0.02

Вторая стадия. Ионообменная конверсия.

ЭФК, очищенная от примесей примерно на 90%, используется в ионообменной конверсии. Для получения монокалийфосфата (МКФ) проводится цепочка процессов, в котором калийная форма катионита обрабатывается фосфорной кислотой, получающаяся при этом водородная форма – раствором соды, а натриевая форма – раствором хлорида калия. Это позволяет избежать применения дорогостоящего карбоната калия, исключается также образование жидких стоков в виде смешанных растворов. Наконец, ионообменная конверсия проводится в условиях образования перенасыщенных растворов: после выхода

раствора МКФ из колонны, остаточные примеси осаждаются и отделяются. Получается продукт с качеством, соизмеримым по чистоте или превосходящим зарубежные аналоги. По такой же схеме выделяется химически чистый по нерастворимым компонентам (быстрорастворимый) моноаммоний фосфат, одновременно с которым получают нитрат или сульфат калия. Разработан также процесс получения чистого сульфата магния из природного сырья. Изготовлена и испытана пилотная установка по ионообменной конверсии. В таблице приведен состав полученного на установке монокалийфосфата

Таблица 2. Содержание компонентов в МКФ

K ₂ O	P ₂ O ₅	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Pb	Cd
33.98	52.02	1.2*10 ⁻²	3.8*10 ⁻³	1.9*10 ⁻³	1.0*10 ⁻⁴	Не обн.

По соглашению между администрацией Краснодарского края и АО «НПП «Радий» в настоящее время в г. Белореченске строится завод по производству быстрорастворимых удобрений. Запуск первого опытно-промышленный цеха на 10 тыс. т/год запланирован на 2017 г.

Литература

- 1.Хамизов Р.Х., Мясоедов Б.Ф., Тихонов Н.А. Доклады АН, 1997, 356, 216.
- 2.Muraviev D., Khamizov R., Tikhonov N., Langmuir, 2003, 19, 10852
3. Khamizov R.Kh., Krachak A.N., Gruzdeva A.N, Khamizov S.Kh., Vlasovskikh N.S., in Ion Exchange and Solvent Extraction/ed. A.SenGupta, V22 , CRS Press, N.Y.-L., 2016, 240
- 4.Хамизов Р.Х., Крачак А.Н., и др. Патенты РФ 2544731, 2545337, 2015.
- 5.Hatch M.J., Dillon J.A. I&EC Process Design & Development, 1963, 2, 253
- 6.Крачак А.Н., Хамизов Р.Х., Познухова В.А., Дурнайкин В.А., Сорбц. хроматографич. процессы, 2011, 11(1), 77
- 7.Глотова Е.А., Тихонов Н.А., Хамизов Р.Х., Крачак А.Н. Вестник Моск. универ. Сер.3: Физика, Астрономия, 2013, 1, 64
- 8.Сидельников Г.Б., Тихонов Н.А., Хамизов Р.Х., Крачак А.Н. Матем. Моделирование, 2013 25(4), 3

ПРЕДПОСЕВНАЯ ОБРАБОТКА СЕМЯН СТИМУЛЯТОРАМИ РОСТА В СВЕРХМАЛЫХ ДОЗАХ

**Цыганова Н.А.¹ Воронкова Н.А.,^{1,2} Дороненко В.Д.,¹
Волкова В.А.¹**

¹*ФГБНУ Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, 644012, г Омск, пр. Королева, 26, sibniish@bk.ru*

²*Омский государственный технический университет, 644050, г. Омск, проспект Мира, 11*

Проблема повышения продуктивности и устойчивости к абиотическим факторам сельскохозяйственных культур, в частности зерновых, является одной из основных проблем современного земледелия.

В настоящее время экологическое земледелие становится одним из приоритетных направлений во многих странах мира. Так, применение экологически безопасных технологических приемов выращивания сельскохозяйственных культур, разработанных на основе изучения морфологических и биологических особенностей растений, позволяет управлять их продукционным процессом в специфических почвенно-климатических условиях определенного региона [2].

Экологизация сельскохозяйственного производства продуктов питания, требует освоение новых альтернативных систем земледелия с минимально возможным уровнем техногенного загрязнения окружающей среды [4].

В целях повышения урожая сельскохозяйственных культур в современном сельском хозяйстве применяют биологические активные вещества. Регуляторы роста стимулируют рост и развитие растений, повышают урожайность, качество семян, а также устойчивость растений к вредителям и болезням [1].

Они разнообразны по химическому составу и инициируемым эффектам в зависимости от концентрации [3, 4]. В связи с этим изучение и применение физиологически-активных веществ в «сверхмалых» концентрациях, для управления живыми организмами и системами, имеет актуальное значение в земледелии.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: выявить концентрации исследуемых веществ, оказывающих стимулирующее воздействие на всхожесть и энергию прорастания семян мягкой яровой пшеницы и редиса; дать оценку влияния различных концентраций на активацию биохимических процессов семян.

Всхожесть и энергия прорастания являются важными показателями посевных качеств семян на первом этапе онтогенеза. Семена с хорошей всхожестью и высокой энергией прорастания всегда дают дружные и

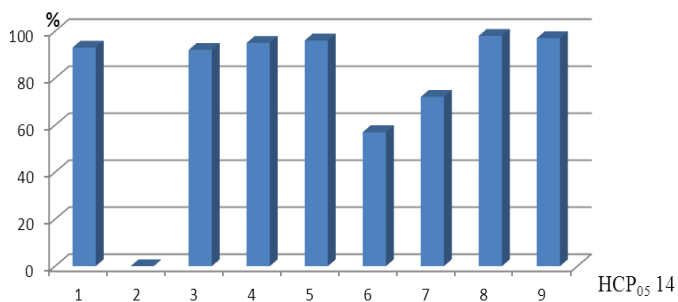
полноценные всходы. Всхожесть семян имеет большое производственное значение, определяющая их пригодность для посева и норму высева.

Объектами исследований являлись семена редиса (*Raphanus sativus* L.) сорта Жара и яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Омская 33.

Закладка лабораторного опыта проводилась по стандартной методике действующего ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». Для приготовления рабочих растворов использованы регуляторы роста: гетероауксин (индолил-3-уксусная кислота) и **янтарная кислота** (бутан-1,4-диовая кислота).

Схема лабораторного опыта представлена в графическом материале. Повторность опыта четырехкратная. Семена в чашках Петри увлажняли рабочими растворами, полученными методом кратного разбавления, согласно схеме опыта. В контрольном варианте семена увлажняли дистиллированной водой. Проращивание семян проводили в термостате при температуре 18– 20°C. Энергию прорастания и всхожесть определяли на 3 и 6 день соответственно.

В результате исследований установлено, что в контрольном варианте энергия прорастания у редиса была на 18% выше в сравнении с этим же показателем у пшеницы (Рисунок 1,2). Увеличение энергии прорастания у семян редиса, в сравнении с контролем, зафиксировано в варианте с применением гетероауксина с концентрацией $2 \cdot 10^{-6}$ % (7%), в то время как эти же варианты рабочих растворов не оказали существенного влияния на энергию прорастания пшеницы.

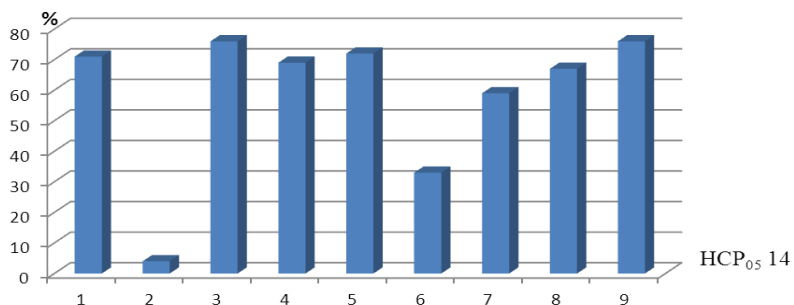


1) Контроль;
Янтарная кислота, концентрация р-ра: 2) 2×10^{-2} ; 3) 2×10^{-4} ; 4) 2×10^{-6} ; 5) 2×10^{-8}
Гетероауксин, концентрация р-ра: 6) 2×10^{-2} ; 7) 2×10^{-4} ; 8) 2×10^{-6} ; 9) 2×10^{-8}

Рисунок 1. Влияние предпосевной обработки семян янтарной кислотой и гетероауксином на всхожесть редиса, %

Всхожесть у редиса выше контроля в вариантах с наименьшими концентрациями ($2 \cdot 10^{-6}$ %, $2 \cdot 10^{-8}$ %) янтарной кислоты и гетероауксина.

Всхожесть пшеницы была максимальной (76%) при использовании янтарной кислоты, концентрация раствора предпосевной обработки семян $2 \cdot 10^{-4}$ и гетероауксина, концентрация раствора $2 \cdot 10^{-8}$.



1) Контроль;

Янтарная кислота, концентрация р-ра: 2) 2×10^{-2} ; 3) 2×10^{-4} ; 4) 2×10^{-6} ; 5) 2×10^{-8}

Гетероауксин, концентрация р-ра: 6) 2×10^{-2} ; 7) 2×10^{-4} ; 8) 2×10^{-6} ; 9) 2×10^{-8}

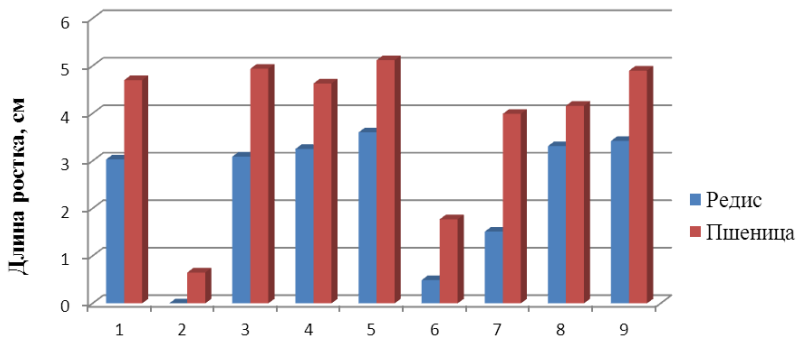
Рисунок 2. Влияние предпосевной обработки семян янтарной кислотой и гетероауксином на всхожесть пшеницы, %

Наилучшие показатели всхожести семян редиса и пшеницы были получены при обработке их растворами янтарной кислоты и гетероауксина в диапазоне концентраций $2 \cdot 10^{-6}$ %, $2 \cdot 10^{-8}$ %.

Проведенные исследования свидетельствуют о целесообразности использования регуляторов роста с целью улучшения развития растений за счет активации биохимических процессов.

Морфофизиологическая оценка проростков семян пшеницы и редиса подтверждает положительное влияние сверхмалых концентраций янтарной кислоты и гетероауксина на развитие растений (Рисунок 3).

Результаты исследований показывают, что в вариантах опыта с концентрацией янтарной кислоты $2 \cdot 10^{-8}$ % длина надземной части проростков пшеницы выше контроля на 8%. Длина надземной части проростков редиса, увлажненных янтарной кислотой в той же концентрации выше контроля на 18 %. Увеличение длины надземной части проростков семян редиса и пшеницы зафиксировано при их увлажнении в растворе гетероауксина с концентрацией $2 \cdot 10^{-8}$ % на 12% и 5% соответственно.



1) Контроль;
 Янтарная кислота, концентрация р-ра: 2) 2×10^{-2} ; 3) 2×10^{-4} ; 4) 2×10^{-6} ; 5) 2×10^{-8}
 Гетероауксин, концентрация р-ра: 6) 2×10^{-2} ; 7) 2×10^{-4} ; 8) 2×10^{-6} ; 9) 2×10^{-8}

Рисунок 3. Влияние предпосевной обработки семян янтарной кислотой и гетероауксином на длину ростка семени

Таким образом, установлено, что применение янтарной кислоты и гетероауксина эффективно. Обработка семян стимуляторами роста в сверхмалых дозах ($2 \cdot 10^{-6}$ %; $2 \cdot 10^{-8}$ %) оказывает существенное влияние на всхожесть и энергию прорастания семян.

Литература

1. Вакуленко В.В., Шаповал О.А. Регуляторы роста растений в сельскохозяйственном производстве. *Плодородие*. – 2001. – № 2. – С. 27–29.
2. Вильдфлуш И.Р. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур. – Минск: Беларус. Наука, 2011. – 293с.
3. Рева М.И. Использование физиологически активных веществ в овощеводстве. М.: ВНИИО, 2000. – С. 212–213.
4. Яшутин Н.В., Дробышев А.П., Хоменко А.И. Биоземледелие. Научные основы, инновационные технологии и машины: *монография*. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. – 191с.

ВЫСОКОИНТЕНСИВНАЯ ФОТОХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

Шашковский С.Г.,¹ Киреев С.Г.,¹ Ершов Б.Г.²

¹ООО «НПП «Мелитта», 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.16/10

²Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
117342, Москва, ул. Обручева, 40, ershov@ipc.rssi.ru

Сроки хранения, качество продукции пищевой промышленности зависит от микробной чистоты среды. В случае длительной транспортировки или хранения продуктов используют химические дезинфектанты, которые даже в малом количестве являются вредной пищевой добавкой. В настоящее время активно исследуются и начинают внедряться методы ультрафиолетовой обработки фасовочной тары, помещений хранилищ, продуктов питания (жидких и твердых). Наиболее распространенным и устойчивым к ультрафиолетовому (УФ) излучению являются споровые формы микроорганизмов: споры плесневых грибов и споры бактерий.

Предварительно были проведены сравнительные экспериментальные исследования чувствительности клеток спор грибов *Aspergillus niger*, находящихся на поверхности, к непрерывному монохроматическому (ртутная лампа непрерывного горения, $\lambda=254$ нм) и импульсному сплошного спектра (импульсная ксеноновая лампа, $\lambda=190 - 400$ нм) УФ излучению при одинаковом энергетическом воздействии.

В исследованиях были использованы споры грибов *Aspergillus niger*, штамм ВКМ F-2481. Рабочие суспензии получали путем разбавления исходной суспензии микроорганизмов в физиологическом растворе до заданного титра.

Сравнительные исследования проводились на экспериментальной установке открытого типа, в которой в качестве источников ультрафиолета использовались ртутная лампа TUV15W/G1578 (Philips, Голландия) и импульсная ксеноновая лампа ИНП-5/120 (Россия). Ксеноновая лампа генерировала импульсы света с частотой 3,15 Гц. Измерения плотности энергии бактерицидного УФ излучения проводили с помощью калиброванных фотоэлектрических приемников.

Тест-объектами служили чашки Петри диаметром 40 мм с тонким слоем суспензии микроорганизмов. Суспензию микроорганизмов с заданной концентрацией в количестве 1,0 мл равномерно распределяли по поверхности чашки Петри (толщина слоя составляла 0,7 мм). Чашки Петри располагались под центральной областью используемой в эксперименте лампы на удалении 20 см от нее. Время экспонирования тест-объектов варьировало от 1,0 до 60 минут.

Определение концентрации живых микроорганизмов в исходных рабочих суспензиях проводили методом высева 0,1 мл соответствующих десятикратных разведений в физиологическом растворе (0,85% NaCl) на поверхность соответствующей плотной питательной среды.

Антимикробное действие бактерицидного потока различных ламп оценивали по соотношению концентраций исследуемых микроорганизмов в тест-объектах (КОЕ/мл) до и после УФ облучения - N/N_0 .

Результаты исследований чувствительности клеток спор грибов *Aspergillus niger*, находящихся на поверхности, представлены в виде графиков зависимости величин N/N_0 от поверхностной дозы бактерицидного УФ облучения (235 – 285 нм) на рисунке 1. Графики отражают динамику инактивации грибных клеток под действием непрерывного и импульсного УФ облучения.

Споры грибов *Aspergillus niger* продемонстрировали очень высокую резистентность к УФ облучению. При сопоставимых уровнях поверхностных доз порядка 9000-10000 Дж/м² (время облучения - 10 минут) непрерывное УФ облучение ртутной лампой приводило к инаktivации спор на уровне 88%, в то время как при импульсном облучении Хе-лампой инаktivация спор составляла уже 99,9%. Продолжительное, 60-минутное, УФ облучение спор грибов *Aspergillus niger* ртутной лампой обеспечивало только 97% эффективность их инаktivации.

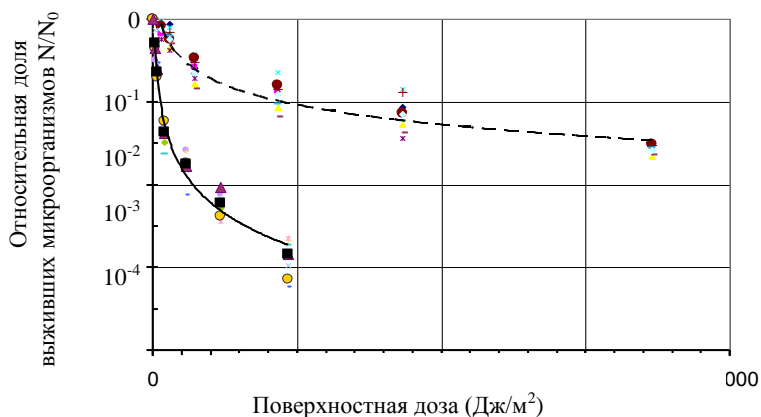


Рисунок 1. Динамика снижения концентрации живых микроорганизмов в тест-объектах под действием непрерывного и импульсного УФ-излучения (1 – ртутная лампа, 2 – импульсная лампа)

Для оценки эффективности снижения контаминации спор грибов с использованием импульсного УФ оборудования в практических

условиях были проведены исследования работы импульсной ксеноновой лампы в помещении объёмом 8 м³, предварительно обсемененного микромицетами плесневого гриба. Споры с 2-х чашек Петри распыляли в помещении с помощью вентилятора в течение 1 часа в первый день эксперимента. Импульсная УФ установка УИКб-01-«Альфа» во всех сеансах облучения располагалась в центре помещения.

Для определения концентрации спор микромицета в воздухе использовали метод седиментации. Вентилятор включали перед началом каждого эксперимента на 1 час. Время обработки в каждом сеансе не изменялось и составляло 1,7 мин, что соответствовало штатному режиму работы установки СР2. Длительность эксперимента составила 5 дней, общее количество сеансов работы установки с импульсной ксеноновой лампой на первом этапе – 9.

До и после включения лампы отбирали пробы воздуха на пластиковые чашки Петри с 2% глюкозным агаром Сабуро. Длительность экспозиции чашек варьировали в пределах от 1 до 5 минут. Со стены отбирали пробы смывов тампоном, смоченным физиологическим раствором натрия хлорида, 2 раза в день - до и после работы лампы.

Эффективность работы установки рассчитывалась по изменению количества спор гриба в воздухе по сравнению с исходным (перед началом работы лампы). На рисунке 2 представлена динамика снижения концентрации микромицет, осевших на чашках Петри при работе установки в течение 5 суток (9 сеансов облучения).

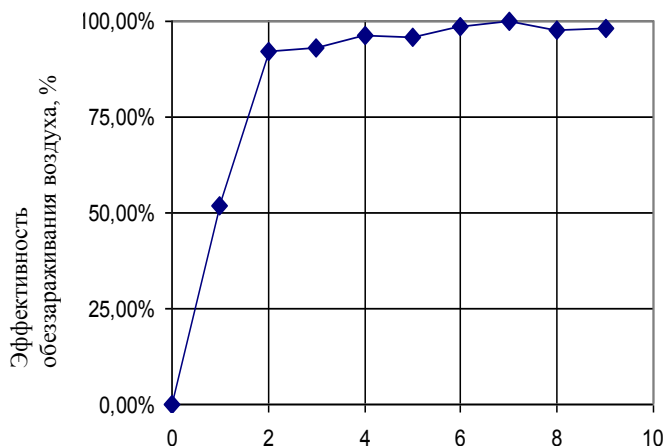


Рисунок 2. Эффективность обеззараживания воздуха при регулярном использовании установки «Альфа-01»

Видно, что за 2 сеанса облучения концентрация спор в воздухе снизилась более чем в 10 раз, а после 6 сеанса эффективность

обеззараживания составила 99%. Максимальное снижение происходило при первом и втором облучениях – в 10 раз. При последующих облучениях (3-9 сеансы) сохранялась тенденция к уменьшению концентрации спор. Но скорость снижения замедлялась.

На рисунке 3 представлены результаты изменения концентрации спор грибов в смывах с поверхностей стен.

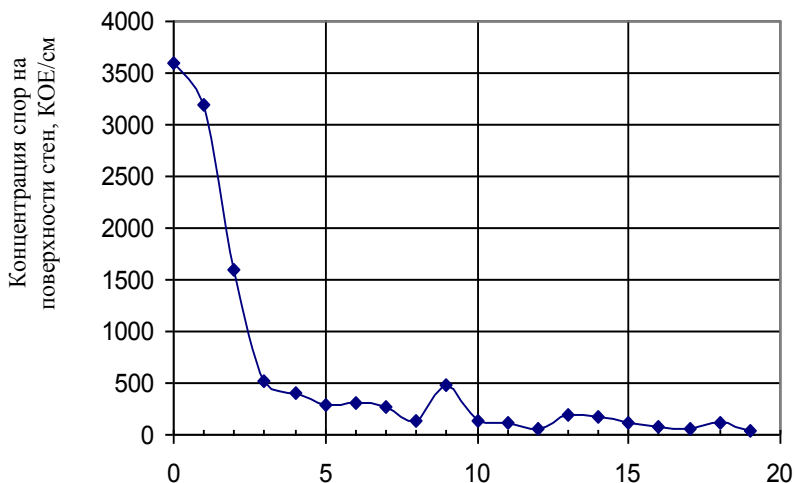


Рисунок 3. Изменение кон. Спор грибов на поверхности стен помещения при регулярном использовании установки «Альфа-01»

При анализе результатов смывов со стен помещения при действии импульсной ксеноновой лампы прослеживалось аналогичное снижение количества КОЕ на единицу поверхности. Общее снижение количества спор гриба за 5 дней (9 сеансов) составило в 7,5 раз. Наибольшее снижение происходило за первые два дня. В дальнейшем, при 4-9 сеансах работы, тенденция к уменьшению спор микромицета на поверхностях сохранялась, но снижение количества спор микромицета на поверхностях происходило менее интенсивно. Колебание значений можно объяснить первоначальным неравномерным оседанием спор на стены помещения или их перераспределением при часовой работе вентилятора.

С целью увеличения эффективности обеззараживания помещений от плесневых грибов была проведена серия экспериментов с дополнительным использованием генератора аэрозоли перекиси водорода. В качестве генератора аэрозоли использовался медицинский дезинфектор «Нокоспрей». Эксперименты проводились в помещении объемом 12 м³.

Методика проведения экспериментов была следующая. Контаминированные спорами бактерий *Bacillus pumilus* чашки Петри, располагались на расстоянии 2 метра от генератора мелкодисперсного (размер капель 3..5 мкм) аэрозоля перекиси водорода и импульсной ультрафиолетовой установки УИКб-01-«Альфа». Чашки располагались в различных плоскостях. Первоначально включался генератор аэрозоля, а затем начинала работать импульсная УФ установка «Альфа-01». По окончании такого цикла обработки чашки Петри помещались в термостат, и по стандартной методике оценивалась эффективность обработки.

На рисунке 4 представлена зависимость эффективности обеззараживания (логарифмический масштаб) от режима обеззараживания контаминированной поверхности. Режим 1 - обработка только аэрозолю перекиси водорода 3% (время работы генератора аэрозоля 2,5 минуты), режим 2 – облучение поверхности импульсной ксеноновой лампой с экспозицией 4 минуты, режим 3 – последовательное действие режима 1 и затем облучение в режиме 2.

Совместное действие перекиси водорода и УФ излучения сплошного спектра вызывает **синергетический эффект**. Видимо под действием потоков света в области короче 230 нм происходит наработка радикалов OH^\cdot и кислорода с высоким окислительным потенциалом. Воздействие на живую клетку осуществляется одновременно по двум каналам: на мембрану споры, ограничивая метаболизм микроорганизма, и на ДНК с белком.

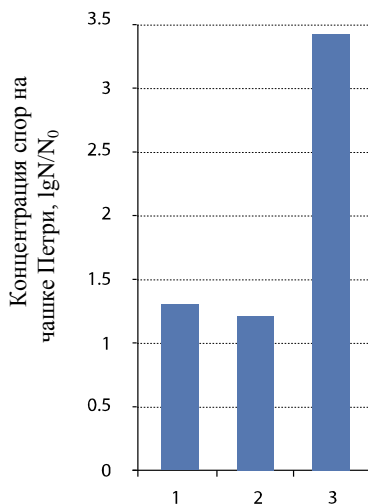


Рисунок 4. Влияние режима обработки

Такая комбинированная обработка обеспечивает полное разложение перекиси водорода, что обеспечивает экологическую чистоту и исключает негативное воздействие на окружающие объекты.

СЕКЦИЯ

**ПРИМЕНЕНИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ И НЕИОНИЗИРУЮЩИХ
ИЗЛУЧЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ, ПЕРЕРАБОТКЕ И ХРАНЕНИИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ И ПИЩЕВОЙ
ПРОДУКЦИИ**

ИНГИБИРОВАНИЕ ПРОРАСТАНИЯ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**Авдюхина В.М., Близнюк У.А., Боршеговская П.Ю.,
Бусленко А.В., Еланский С.Н., Илюшин А.С., Левин И.С.,
Студеникин Ф.Р., Черняев А.П.**

*Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, стр. 2
uabliznyuk@gmail.com*

Одной из перспективных технологий обработки клубней картофеля с целью подавления их прорастания является воздействие ионизирующим излучением [1, 2, 3].

Целью данной работы является экспериментальная проверка эффективности использования рентгеновского излучения для обработки картофеля. Объекты - клубни картофеля восьми сортов: «Невский», «Удача», «Лорх», «Ред Скарлетт», «Жуковский», «Алена», «Лидер», «Взрыв», выращенных на базе ВНИИ картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха. Клубни картофеля облучали рентгеновским излучением с использованием трубки с молибденовым анодом. Ток трубки во всех экспериментах составлял 20 мА, напряжение - 50 кВ. Эксперименты и дальнейшее хранение картофеля происходили при температуре 16-18°C. Время облучения варьировалось от 2 до 60 минут. Далее измерялась длина проростков в течение 60 суток после проведения облучения. По полученным экспериментальным значениям строились зависимости средней длины проростков от времени после проведения облучения для каждого сорта. Для оценки поглощенной дозы в картофеле проводилось моделирование с использованием программного кода GEANT4. В результате моделирования было получено, что мощность поглощенной дозы в картофеле массой 100 г составляла примерно 0,01 Гр/с. Также измерялись концентрации белка, восстанавливающих сахаров и глюкозы у облученных клубней, и далее проводилось сравнение с контрольными образцами.

Экспериментально получено, что с увеличением времени облучения (поглощенной дозы) средняя длина проростков клубней, подвергавшихся воздействию рентгеновского излучения, уменьшалась по сравнению с контрольными необлученными образцами. Например, для сорта «Невский» ингибирование прорастания произошло при дозах более 15 Гр, для сорта «Любава» - при дозах более 21 Гр. Для всех исследуемых сортов картофеля подавление прорастания происходило в диапазоне доз от 15 до 21 Гр. Концентрации белка и глюкозы в картофеле после облучения не менялись. Также было получено, что при дозах облучения до 20 Гр концентрация восстанавливающих сахаров не менялась, при больших дозах их концентрация увеличивалась на 50-70 %. Таким образом, обработка клубней картофеля рентгеновским излучением является эффективным методом подавления их прорастания.

Литература

1. W. G. Burton, R. S. Hannan. «Use of γ -radiation for preventing the sprouting of potatoes». Journal of the Science of Food and Agriculture V.8. I.12.p. 707-715.1957.
2. А. С. Алимов «Практическое применение электронных ускорителей» - Препринт НИИЯФ МГУ № 2011 - 13/877.
3. Rezaee M., Almassi M., Farahani A., Minaei S., Khodadadi M. Potato Sprout Inhibition and Tuber Quality after Post Harvest Treatment with Gamma Irradiation on Different Dates // J. Agr. Sci. Tech. — 2011. — V. 13. — P. 829-842.

МОЩНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ УСКОРИТЕЛИ ЭЛЕКТРОНОВ ИЛУ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Барабанов В.В.,¹ Безуглов В.В.,^{1,2} Брызгин А.А.,^{1,2} Власов А.Ю.,^{1,2}
Воронин Л.А.,^{1,2} Коробейников М.В.,^{1,2} Нехаев В.Е.,¹ Максимов
С.А.,¹ Панфилов А.Д.,¹ Радченко В.М.,¹ Штарклев Е.А.,^{1,2}
Сидоров А.В.,¹ Ткаченко В.О.,^{1,2} Факторович Б.Л.¹

¹*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН
630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 11,
a.a.bryazgin@inp.nsk.su*

²*Новосибирский государственный университет, 630090,
г. Новосибирск, ул. Пирогова, д.2*

1. Введение

В Институте ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН разрабатываются и производятся мощные промышленные импульсные линейные ускорители электронов типа ИЛУ. Начиная с 70-х годов XX века эти ускорители были поставлены поставляются в научные и промышленные организации России, Европы, Азии включая Японию, а также в США. ИЯФ сумел завоевать доверие промышленности как надёжный поставщик промышленных машин [1], которые могут десятилетиями работать на производстве, некоторые машины работают по 24 часа в сутки.

Ускорители типа ИЛУ являются достаточно специфическими линейными высокочастотными ускорителями – это однорезонаторные машины, работающие в режиме стоячей полуволны (в отличие от большинства линейных ускорителей). Рабочие частоты ускорителей ИЛУ находятся в метровом диапазоне радиоволн – 118 МГц и 178 МГц.

Мощность пучка определяется мощностью ВЧ генераторов, питающих резонатор.

Низкая (для ВЧ ускорителей) рабочая частота позволяет сделать ВЧ генераторы на мощных ламповых триодах ГИ-50, которые выпускаются промышленностью. Эти триоды стоят гораздо дешевле магнетронов и клистронов, которые используются для ВЧ питания большинства мощных ВЧ ускорителей. Импульсная мощность одного каскада на этих триодах достигает 2 МВт.

Основные применения ускорителей типа ИЛУ в промышленности в настоящее время – стерилизация различных одноразовых медицинских изделий и модификация полимерных материалов – изоляции проводов и кабелей, производство термоусаживаемых трубок и плёнок, производство вспененных полимерных изделий и т.д.

2. Взаимодействие электронного пучка с веществом

Электронный пучок – это поток электронов, ускоренных до высокой энергии (гораздо выше тепловой). Электроны пучка теряют свою энергию в конденсированной фазе (в жидкостях, твёрдых и сыпучих телах) сравнительно небольшими порциями в результате многократного столкновения с электронами среды, расстояния между столкновениями – менее 1мкм[2, стр.66].

Глубина проникновения при фиксированной энергии электронов обратно пропорциональна плотности вещества – чем выше плотность вещества, тем меньше глубина проникновения. Поэтому для практических целей в качестве параметра, характеризующего глубину, на которой измеряется (или вычисляется) доза, или толщину облучаемого вещества, используется поверхностная плотность вещества, измеряемая в граммах на квадратный сантиметр ($\text{г}/\text{см}^2$).

Верхняя граница энергии электронного пучка в случае электронно-лучевой обработки принята равной 10 МэВ во избежание появления наведённой активности. В случае обработки пищевых продуктов тормозным излучением в США принята максимальная энергия электронов пучка 7,5 МэВ, во всех остальных странах мира в настоящее время принята максимальная энергия 5 МэВ.

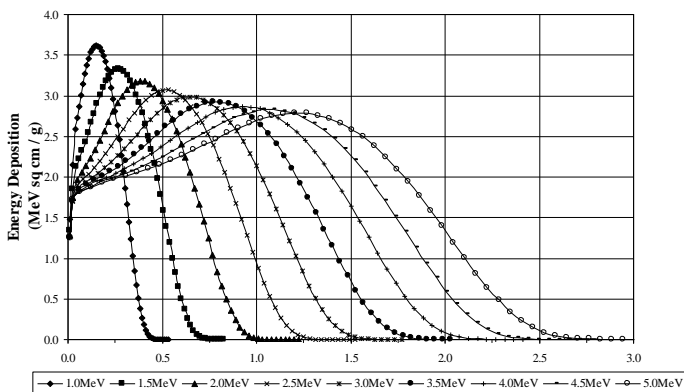


Рисунок 1. Распределения поглощённой дозы внутри воды при различных энергиях электронного пучка

Рисунок 1 [1] показывает расчётные результаты распределения поглощённой дозы в воде для энергий электронного пучка от 1 до 5 МэВ. На Рисунке 2 [1] приведены сравнительные кривые поглощённой дозы при обработке электронным пучком с энергией 10 МэВ, гамма-излучением изотопного источника и тормозным излучением, порождённым электронным пучком с энергией 7,5 МэВ (максимально допустимым для промышленной обработки). Для увеличения глубины

проникновения и эффективности обработки применяется облучение с 2-х сторон.

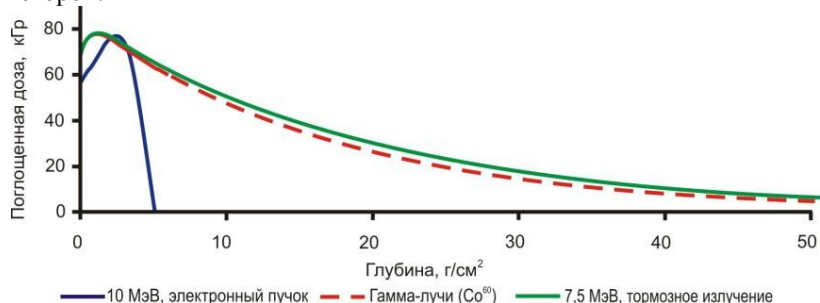


Рисунок 2. Распределение дозы внутри вещества при одностороннем облучении при использовании электронного пучка с энергией 10МэВ, излучения изотопных источников с изотопом Co⁶⁰ и тормозного излучения при энергии электронного пучка 7,5МэВ.

3. Основные параметры ускорителей ИЛУ

Ускорители типа ИЛУ предназначены для работы в диапазоне энергий 0,7-10 МэВ при мощности пучка ускоренных электронов до 100 кВт. Их отличительными особенностями являются простота конструкции, удобство эксплуатации и надежность при длительной работе в условиях промышленного производства. Ускорители ИЛУ-10 и ИЛУ-14 могут быть оснащены съёмной мишенью для генерации тормозного излучения, обладающего на порядок более высокой проникающей способностью чем электронный пучок, но производительность обработки при этом также падает на порядок.

Мощность изотопного источник 1 МКи примерно соответствует мощности электронного пучка 14 кВт. Основные преимущества ускорителей электронов – они генерируют ионизирующее излучение только во включенном состоянии, после выключения они становятся из источника ионизирующего излучения сразу же превращаются в электротехническое оборудование, их мощность плавно регулируется от 0 до максимальной, у них нет спада активности излучения вследствие идущего процесса распада, они не требуют регулярной перезагрузки новыми активными элементами.

Основные параметры ускорителей ИЛУ [3-7] приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Параметры ускорителей ИЛУ

Ускоритель	Максимальная энергия электронов	Максимальная мощность пучка	Направление пучка
ИЛУ-8	1 МэВ	20 кВт	Вертикальное
ИЛУ-10	5 МэВ	50 кВт	Вертикальное
ИЛУ-12	5 – 7.5 МэВ	60 кВт	Горизонтальное
ИЛУ-14	7,5 – 10 МэВ	100 кВт	Горизонтальное

В Таблице 2 приведены производительности ускорителей при стерилизации дозой 25 кГр. При уменьшении дозы производительность пропорционально увеличивается.

Таблица 2. Производительность ускорителей при стерилизации электронным пучком

Энергия Электронов	5 МэВ – ИЛУ-10 5-7,5 МэВ – ИЛУ-12 10 МэВ – ИЛУ-14
Мощность Пучка	до 50 кВт – ИЛУ-10 до 60 кВт – ИЛУ-12 до 100 кВт – ИЛУ-14
Производительность при дозе 25 кГр	до 3,5 тонн/час – ИЛУ-10 до 4 тонн/час – ИЛУ-12 до 7 тонн/час – ИЛУ-14

Типичные дозы для различных процессов облучения [1]:

- Предотвращение прорастания 0,1 – 0,2 кГр
- Дезинсекция 0,3 – 0,5кГр
- Подавление развития паразитов 0,3 – 0,5кГр
- Задержка созревания фруктов 0,5 – 1,0кГр
- Подавление плесеней 1,5 – 3,0кГр
- Подавление бактерий 1,5 – 3,0кГр
- Стерилизация 15 – 30кГр
- Полимеризация 25 – 50кГр
- Сополимеризация полимеров (графтинг) 25 – 50кГр
- Сшивание полимеров 50 – 250кГр
- Деградация полимеров 500 – 1500кГр

4. Ускоритель ИЛУ-8

Ускоритель ИЛУ-8 с диапазоном энергии 0,7-1 МэВ и мощностью пучка до 20 кВт показан на Рисунке 3. Эти машины используется в основном для обработки тонких полимерных трубок, плёнок, проводов и кабелей. В пищевой промышленности он может применяться для поверхностной обработки зерна, а также для поверхностной стерилизации ёмкостей и упаковок для пищевых продуктов.

Для уменьшения габаритов конструкции ВЧ генератор выполнен в виде отдельной конструкции и размещён снаружи радиационной защиты. Связь ВЧ генератора с резонатором ускорителя осуществляется через 2 волновода.

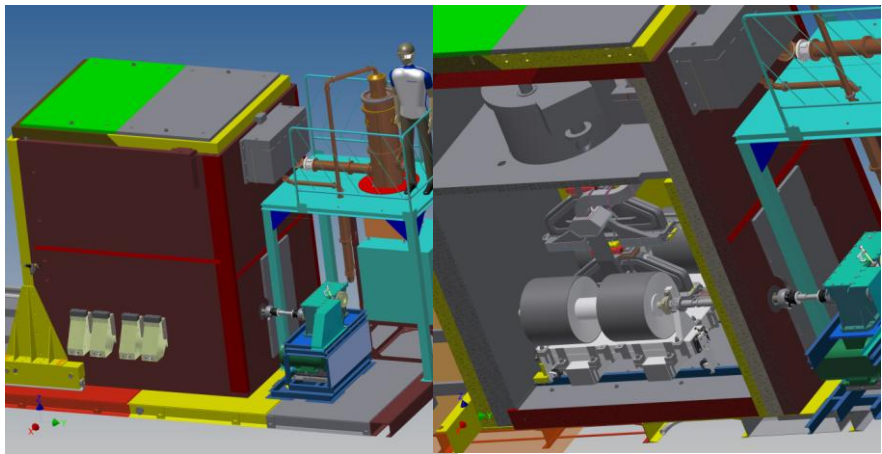


Рисунок 3. Ускоритель ИЛУ-8 внутри местной защиты на линии по обработке проводов

Основное преимущество ИЛУ-8 – его небольшие габариты. Этот ускоритель с местной биологической защитой может быть установлен в любом цеху, имеющем достаточную высоту (не менее 4 м). При желании его можно разместить и в маленьком бетонном бункере.

5. Ускоритель ИЛУ-10

Ускоритель ИЛУ-10 имеет диапазон рабочей энергии 4-5 МэВ, мощность пучка до 50 кВт. Эти ускорители используются для обработки медицинской продукции (стерилизации) и модификации изоляции кабелей. Энергия 5 МэВ обеспечивает большую глубину проникновения пучка – до $1,7 \text{ г/см}^2$ в режиме одностороннего облучения и до 4 г/см^2 в режиме двухстороннего облучения. Эти ускорители могут быть оснащены конвертором для генерации тормозного излучения.



Рисунок 4. Ускоритель ИЛУ-10

На Рисунке 4 показаны ускорители ИЛУ-10 установленные в Парке ядерных технологий, г. Курчатов, Казахстан, и в Новосибирске на фармацевтическом производстве. Высота ИЛУ-10 вместе с размещёнными непосредственно над резонатором генераторами (покрашены в синий цвет) составляет 2,4 м.



Рисунок 4. Многозакорный ускоритель ИЛУ-14.

Многозакорные ускорители ИЛУ-12 и ИЛУ-14

Ускорители ИЛУ-12 и ИЛУ-14 (Рисунок 4) были разработаны с целью выхода на рынок обработки пищевых продуктов. Эти ускорители с диапазоном энергии 5-7,5 и 7,5-10 МэВ соответственно и мощностью пучка до 100 кВт в режиме генерации тормозного излучения могут успешно конкурировать с мощными изотопными источниками.

Основное назначение этих машин – стерилизация медицинских изделий. Глубина проникновения пучка с энергией 10 МэВ – до 3,5 г/см² в режиме одностороннего облучения и до 8 г/см² в режиме двухстороннего облучения.

Для генерации тормозного излучения был разработан конвертер с максимальной мощностью электронного пучка 100 кВт и диапазоном энергии 5-7,5 МэВ. В Таблице 3 приведены параметры конвертора.

Таблица 3. Параметры конвертера для генерации тормозного излучения

Энергия	Толщина танталовой мишени	Эффективность конверсии в угол 60°	Эффективность конверсии в угол 360°
5 МэВ	0,7 мм	8,3 %	12 %
7,5 МэВ	0,9 мм	13,2 %	16,9 %

6. Заключение

Ускорители для радиационных технологий продолжают развиваться. В начале 60-х годов XX века для радиационных технологий использовались ускорители с энергией 1 МэВ и мощностью несколько кВт [8], а сейчас ускорители промышленные ускорители типа ИЛУ перекрывают диапазон энергии электронов от 0,7 до 10 МэВ и могут генерировать пучок мощностью до 100 кВт. Ускорители ИЛУ-10 были поставлены в США для отработки процессов радиационной обработки пищи, в Индии ускоритель ИЛУ-10 используется для обработки пищевой продукции, и ускоритель ИЛУ-8 был поставлен в Японию для стерилизации ёмкостей для напитков.

В 2012 году в ИЯФе были начаты работы по электронно-лучевой деконтаминации комбикормов для птиц и их компонентов. Сальмонеллез - наиболее актуальная для промышленного птицеводства зооантропонозная бактериальная инфекция. Основной способ заражения птицы алиментарный (с кормом). Основной источник сальмонеллы для человека - продукция птицеводства.

Используемые химические способы деконтаминации кормов для птицы недостаточно эффективны и загрязняют корма для птицы и продукцию птицеводства различными дезинфектантами и антибиотиками. Показана эффективность электронно-лучевой обработки для обеззараживания комбикормов и их компонентов при сохранении их питательных свойств и отсутствие токсичных компонентов после обработки.

В 2014 году в ИЯФе были начаты работы по электронно-лучевой обработке кукурузного крахмала и зерна с целью деконтаминации и проверки условий радиационной деструкции входящих в их состав соединений.

Электронно-лучевая обработка может быть использована для глубокой переработки выделяемого из зернового сырья крахмала с целью получения продуктов высокой степени переработки – аминокислот, витаминов, пищевых кислот, полимолочной кислоты с последующим синтезом биоразлагаемых полимеров.

В 2015 году совместно с ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» в ИЯФе были проведены экспериментальные работы по облучению картофельных клубней, зерна и рыбных пресервов для разработки технологии продления сроков хранения продуктов.

Литература

1. Industrial radiation Processing With Electron beams and X-rays, 2011. International Atomic energy Agency technical document, <http://www.cirms.org/pdf/Industrial%20Radiation%20Processing%20-%20May%202011%20-%20Revision%206.pdf>.
2. А.К. Пикаев, Современная радиационная химия, том 1, Основные положения, Экспериментальная техника и методы, М.: Наука, 1985, стр. 66.
3. Ауслендер В. Л., Безуглов В. В., Брызгин А. А. и др. Ускорители электронов серии ИЛУ и их использование в радиационно-технологических процессах // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Техническая физика и автоматизация. 2004. Вып. 58. С. 78–85.
4. В.Л. Ауслендер, В.В. Безуглов, А.А. Брызгин, Л.А. Воронин, В.А. Горбунов, А.Д. Панфилов, В.С. Подобаев, В.М. Радченко, В.О. Ткаченко, Б.Л. Факторович, В.Г. Ческидов, Е.А. Штарклев. Импульсный высокочастотный линейный ускоритель электронов ИЛУ-8. ПТЭ, 2009, № 3, с.98-103.
5. V. L. Auslender, A.A. Bryazgin, K.N. Chernov, V.G. Cheskidov, B.L. Faktorovich, G.I. Kuznetsov, I.G. Makarov, G.N. Ostreiko, A. D. Panfilov, G.V. Serdobintsev, V.V. Tarnetsky, M.A. Tiunov Latest experiments on 5 MeV section for high-power modular accelerator for e-beam and X-ray processing. Radiation Physics and Chemistry, Vol 78, Issues 7-8, July/August 2009, pp. 741-744.
6. V.V Bezuglov, A.A. Bryazgin, L.A. Voronin, V.A. Gorbunov, E.N. Kokin, M.V. Korobeynikov, A.N. Lukin, I.G. Makarov, S.A. Maximov, A.D. Panfilov, V.S. Podobaev, V.M. Radchenko, A.V. Sidorov, V.V. Tarnetskiy, M.A. Tiunov, V.O. Tkachenko, B.L. Faktorovich, E.A. Shtarklev, K.N. Chernov. Sterilization complexes based on ILU-type electron accelerators // Nuclear Science and Techniques, vol.22 No.1 Feb. 2011. Shanghai, China. ISSN 1001-8042. CN 31 – 1559 / TL.
7. А.А. Брызгин, В.И. Безуглов, Е.Н. Кокин, М.В. Коробейников, Г.И. Кузнецов, И.Г. Макаров, Г.Н. Острейко, А.Д. Панфилов, В.М. Радченко, Г.В. Сердобинцев, А.В. Сидоров, В.В. Тарнецкий, М.А. Тиунов, Б.Л. Факторович, К.Н. Чернов, В.Г. Ческидов. Промышленный линейный ускоритель электронов модульного типа ИЛУ-14 // Приборы и техника эксперимента, 2011, № 3, с. 5–21. Москва. УДК 621.384.6.
8. Радиолит углеводов: некоторые физико-химические проблемы. Под редакцией А.В. Топчиевк, Л.С. Полака. Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева. Изд-во Академии наук СССР, 1962.

МИРОВОЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКОВ ГОДНОСТИ СВЕЖИХ ОВОЩЕЙ И ФРУКТОВ

Груздев Н.А., Лобанов И.В.

*ООО «Акселланс Групп», 119370, Москва, Лужнецкая набережная, 10а
стр.3., nikolay.gruzdev@axellance.com*

Длительность хранения плодов, ягод и овощей определяется жизнедеятельностью микроорганизмов на их поверхности и устойчивостью тканей плодов, ягод и овощей к этим фитопатогенным микроорганизмам. Кроме того, для ряда овощей и фруктов срок хранения может определяться их способностью к прорастанию или созреванию.

Одной из перспективных технологий, применяемых с целью деконтаминации и продления сроков хранения пищевых продуктов, в том числе продуктов категории «фреш» (свежих овощей, фруктов и других продуктов ограниченного хранения), является использование ионизирующих излучений. В связи с появлением нормативной базы по радиационной обработке продуктов питания в РФ и введением в 2016-2017 гг. ряда государственных стандартов, данная технология представляет особый интерес для внедрения в ближайшие годы.

В целях определения перспективных направлений, был проведен анализ зарубежных публикаций по продлению сроков годности овощей и фруктов.

Таблица 1. Применение радиационной обработки для продления сроков годности свежих овощей и зелени в разных странах мира

Продукт	Страна
Брокколи	Великобритания, США
Зеленая фасоль	Египет
Капуста кочанная	Пакистан, США, Чили
Капуста цветная	Пакистан
Картофель	Иран, Италия, США, Япония
Лук зеленый	США
Лук репчатый	Малайзия
Морковь	Египет, Индия, Канада, Китай, Пакистан, Турция, США, Чили
Огурец	Египет, Индия, Малайзия, Пакистан
Петрушка	США
Редис	Великобритания, Венгрия, США
Руккола	Аргентина, Бразилия
Салаты (латук, айсберг и др.)	Бразилия, Египет, Чили, Португалия, США
Сельдерей	Египет, США, Чили
Томат	Венгрия, Китай, Пакистан
Шпинат	США, Чили

В целом, проведенные в последние пару десятилетий исследования показали, что большинство свежих овощей и фруктов допустимо облучать в дозе до 1 кГр без появления нежелательных эффектов. При этом дозы облучения, достаточные для достижения 1-log подавления поверхностно-загрязняющих бактериальных патогенов, обычно лежат в диапазоне 0,2 – 0,8 кГр. Вирусы и грибы, как правило, более устойчивы, и для достижения того же уровня их подавления зачастую требуется 1 – 3 кГр. Дозы, необходимые для 3-log подавления вирусов и грибов, для большинства видов продукции оказываются неприемлемыми.

Таблица 2. Значения доз и негативные эффекты от облучения для различных овощей и фруктов

Продукт	Доза, кГр	Негативные эффекты
Яблоки	0,4; 0,5	Размягчение
Брокколи	1,0; 3,0	
Капуста китайская	1–2	
Капуста	2,5	
Канталупа	0,7; 0,7–1,5; 1,0; 1,5	Размягчение
Морковь	1; 2	Размягчение
Сельдерей	1,0; 1,5	Размягчение
Кориандр	2; 3,85	Потеря витамина С
Огурец	1; 2	Размягчение, изменение вкуса
Грейпфрут	0,5; 0,7	Потеря витамина С, изменение цвета
Лук зеленый	1,0; 1,5	Изменение вкуса, отсыревание
Салат "айсберг"	0,35; 0,9; 1,0; 2,0	Размягчение, отсыревание
Салат "ромэн"	0,35; 1	Размягчение
Манго	1	Размягчение
Мята	2	
Ананас (нарезанный)	2	
Шпинат	2	Потеря витамина С
Ростки люцерны	1,7	Потеря витамина С
Ростки мунго	1,5	Потеря витамина С
Ростки редиса	2	
Земляника	2	Размягчение, изменение запаха
Томаты	0,5; 0,7; 1,0; 2,5	Размягчение

В настоящее время облучение свежих овощей и фруктов одобрено и осуществляется во многих странах мира.

В США в 1983 году государственной организацией FDA было одобрено облучение фруктов и овощей с максимально допустимой дозой 1 кГр в целях дезинсекции и продления срока годности. В 2008 году, после оценки возможности образования вредных веществ (в частности, фурана), пищевой ценности и влияния на

микробиологический профиль обработанных продуктов, FDA одобрило применение облучения до 4,0 кГр для свежего салата «айсберг» и шпината в целях деконтаминации и продления срока хранения. Помимо разрешения FDA, Министерством сельского хозяйства США с 2006 года разрешено применять облучение для дезинсекции фруктов, импортируемых в Соединенные Штаты.

В Европе облучение продуктов питания, в том числе свежих овощей и фруктов, разрешено Директивой 1999/2/ЕС. По данным на 2014 г., облучение свежих овощей и фруктов проводится в промышленных масштабах в Германии, Чехии, Эстонии, Франции, Италии, Голландии, Польше, Словакии, Финляндии.

В Азии облучение свежих овощей и фруктов разрешено и используется в Китае, Индии, Пакистане, Японии, Таиланде, Вьетнаме.

В Австралии облучение свежих овощей и фруктов используется в качестве фитосанитарной меры при экспорте.

Таким образом, технология радиационной обработки достаточно активно используется по всему миру для продления сроков годности свежих овощей и фруктов.

С точки зрения применения технологии в РФ, представляет интерес выявление наиболее актуальных потребностей производителей и поставщиков овощей и фруктов, а также розничных сетей, для определения направлений дальнейших работ.

Литература

1. Use of Irradiation to Ensure the Hygienic Quality of Fresh, Pre-Cut Fruits and Vegetables and Other Minimally Processed Food of Plant Origin. IAEA Report, 2006. – 321 p.
2. Pillai S.D., Shayanfar S. Electron Beam Pasteurization and Complementary Food Processing Technologies. – Woodhead Publishing, 2015. – 324 p.
3. Gómez-López V.M. Decontamination of Fresh and Minimally Processed Produce. Wiley-Blackwell, 2012. – 551 p.
4. European Commission. Report From The Commission To The European Parliament And The Council On Food And Food Ingredients Treated With Ionising Radiation For The Year 2014. – Brussels, 17.12.2015
5. Kume T., Todoriki S. Food Irradiation in Asia, the European Union, and the United States: A Status Update. Radioisotopes, 62, 291-299 (2013).

РАДИАЦИОННО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, РЕАЛИЗОВАННЫЕ В ЦЕНТРЕ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИФХЭ РАН

**Ершов Б.Г.,¹ Грачева А.Ю.,² Завьялов М.А.,² Илюхина Н.В.,²
Павлов Ю.С.,¹ Прокопенко А.В.,^{2,3} Филиппович В.П.²**

¹*ФГБУН Институт физической химии и электрохимии
им. А.Н. Фрумкина РАН, 119071, Москва, Ленинский просп. 31,
корп. 4, rad05@bk.ru*

²*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт
технологии консервирования, 142703, Московская обл.,
г. Видное, ул. Школьная 78*

³*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,
115409, Каширское ш., 31*

Проведен цикл работ по применению радиационных технологий в сельском хозяйстве, пищевой, консервной и фармацевтической промышленности: предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур для повышения урожайности; дезинсекция зерновых культур для уничтожения паразитов, вредителей и их личинок; обработка с целью продления срока годности свежесобранных плодов; обработка для предотвращения прорастания корнеплодов [1-5].

Повышение качества и безопасности пищевой продукции в современных условиях достигаются с применением высокотехнологических процессов [6-8].

Обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации невозможно без внедрения в агропромышленную сферу эффективных и экологически безопасных технологий, среди которых наиболее перспективными являются радиационные технологии [9-10].

По данным МАГАТЭ во всем мире усиливается интерес к использованию радиационных технологий в агропромышленном комплексе [11]. Одним из направлений исследований радиационной технологии является обработка продуктов питания и сельскохозяйственного сырья для обеспечения биобезопасности, повышения качества, интенсификации технологических процессов и снижения потерь [12].

Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО ООН) и Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) одобрили использование ионизирующего излучения для обработки пищевых продуктов.

В настоящее время в мире создано около 220 специализированных центров по облучению сельскохозяйственной продукции и продуктов питания. В частности, в 69 странах действует разрешение на облучение

более чем 80 видов продукции, около 40 стран проводят облучение пищевой продукции на постоянной основе. Большинство центров облучения продуктов питания расположены в США (примерно около 99 центров) и Китае (около 79 центров), которые являются лидерами в области применения радиационных технологий [11]. Современный мировой рынок услуг по облучению продуктов питания и сельскохозяйственной продукции оценивается на сумму более 2 млрд долл. США. Ожидается, что к 2020 г. он достигнет 4,8 млрд, а к 2030 г. – 10,9 млрд долл. США. Общий годовой объем облученной продукции в мире на сегодняшний день оценивается в 700÷800 тыс. т [13].

Максимальный объем облученной продукции приходится на продукцию растительного происхождения (~90%), основная ее доля — это специи, сухие овощи и фрукты (52%) [14].

Внедрение радиационной технологии в агропромышленное производство России сдерживается отсутствием нормативно-методической базы. Для успешного применения радиационной технологии необходимо создать научно-обоснованные Методические указания по разработке режимов стерилизации методом облучения пищевых продуктов. Методические указания должны обеспечить нормами и методиками контроля на всех этапах технологического процесса - от выбора Радиационной установки (РУ) до способа и материалов упаковки продуктов питания.

Технологические регламенты радиационной технологии должны обеспечивать микробиологическую безопасность и качество облученной продукции в соответствии с требованиями стандартов по организации практики производства и контроля качества продукции: Международного свода правил, определяющих общие принципы гигиены пищевых продуктов, ГОСТ Р 51705.1 "Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП", технического регламента Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" ТР ТС 021/2011, СанПиН 2.3.2.1078-01 "Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов" и СанПиН 2.3.2.1324-03 "Гигиенические требования к срокам годности и условиям хранения пищевых продуктов" В соответствии с решением президиума Совета при Президенте России по модернизации экономики и инновационному развитию от 11 декабря 2014 г. поставлена задача по разработке отечественной нормативной базы применения радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. В апреле 2015 г. был опубликован основополагающий нормативный документ – Государственный стандарт ГОСТ ISO 14470-2014 "Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением" [15]. Он одобрен Евразийским советом по

стандартизации, метрологии и сертификации и принят к действию на территории стран, входящих в Содружество независимых государств [13].

При разработке всех технологических регламентов радиационной обработки продукции агропромышленного производства используют "Общий стандарт на пищевые продукты, обработанные проникающим излучением" (2003 г), нормы и правила, изложенные в Кодексе Алиментариус "Облученные продукты питания" (2007 г), Государственный стандарт ГОСТ ISO 14470-2014 "Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения продуктов ионизирующим излучением", а также нормативные документы, регламентирующие порядок радиационной обработки различных видов сельскохозяйственной и пищевой продукции и методы дозиметрических измерений [13].

В рамках подготовки к созданию проектов технических регламентов с 2014 года в ФГБНУ "ВНИИТеК" совместно с ИФХЭ РАН проводятся исследования по изучению воздействия радиационного облучения с применением электронного пучка с целью подавления жизнедеятельности микроорганизмов *E. coli* и *S. aureus*.

Эффект воздействия ионизирующих излучений на микроорганизмы зависит от величины поглощенной дозы. Устойчивость к воздействию ионизирующих излучений у различных микроорганизмов неодинакова. Наиболее чувствительны грамотрицательные бактерии. Слабой устойчивостью отличаются психрофильные бактерии. Более устойчивы грамположительные бактерии, особенно некоторые микрококки. На основании данных химических и биологических исследований, а также оценки питательных свойств облученных продуктов, выполненных специалистами различных стран, издан документ "Оценка санитарного состояния облученных пищевых продуктов", в котором констатировалось, что специального токсикологического или пищевого исследования продуктов, облученных до 10 кГр, не требуется [16].

Применительно к радиационной обработке в целях подавления микроорганизмов в зависимости от величины поглощенной дозы ионизирующего излучения МАГАТЭ предложены специальные термины: радисидация (4÷6 кГр), радуризация (6÷10 кГр) и радаппертизация (10÷50 кГр).

С целью подавления микроорганизмов конкретного типа (*E. coli*, *S. aureus*) нами выбраны направления радисидация (4÷6 кГр) и радуризация (6÷10 кГр). В исследованиях использовался ускоритель УЭЛВ-10-10-С-70, имеющий энергию пучка электронов $10 \pm 0,4$ МэВ и мощность дозы электронного излучения на расстоянии 1 м от фланца выпускного окна 3 кГр/с. Для транспортировки облучаемых образцов перед сканирующим пучком электронов в ускорителе используется

круговой конвейер. Контроль за дозой облучения осуществляется с помощью спектрофотометра и детекторов на основе полимерных плёнок однократного использования. Диапазон измерения поглощённой дозы варьируется в интервале 5÷50 кГр, погрешность не превышает 12%. Меньшие дозы можно оценить при интерполяции полученных результатов.

Эксперимент проведен с применением различных доз облучения ампул диаметром 10 мм и высотой 60 мм с суспензиями микроорганизмов. В исследовании использовались суточные культуры микроорганизмов, культивированные в мясо-пептонном бульоне: грамотрицательные палочковидные бактерии *E. coli* с размерами (1,1÷1,5)х(2,0÷6,0) мкм и грамположительные бактерии *S. aureus* сферической формы с диаметром 0,5÷1,5 мкм. Облучение запаянных ампул с суспензиями микроорганизмов проводили облучателем с электронным пучком в двух ориентациях (горизонтальной и вертикальной) с дозами облучения 3, 5, 7, 10 кГр. Для уменьшения статистической ошибки для каждого варианта образцов использовали по три повторности для каждой точки эксперимента. Микробиологическое исследование облученных и контрольных образцов выполнялись в день облучения по ГОСТ 30726-2011 для *E. coli* и ГОСТ 31746-2012 для *S. aureus*, время культивирования микроорганизмов на мясо-пептоном агаре составляло 24 часа при температуре 37°C. Для посева исходных суспензий и десятикратных разведений использовали по две параллельные чашки Петри. Результаты исследования представлены на рисунке 1 для *E. coli* и рисунке 2 для *S. aureus*. На рисунках в логарифмическом масштабе представлена зависимость количества жизнеспособных микроорганизмов от поглощённой дозы облучения.

Установлено, что культуры *E. coli* и *S. aureus*, подвергшиеся радиационному облучению отмирают на 80÷100%. Горизонтальное положение образцов, при радиационном облучении наиболее эффективно по сравнению с вертикальным.

В ходе выполнения исследований на ускорителе УЭЛВ-10-10-С-70 установлены дозы облучения для обработки суспензий микроорганизмов *E. coli* и *S. aureus*, позволяющие их использовать при радиационной и радиурезации пищевой продукции.

Установлено, что летальная доза при облучении электронами для дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*) составляет около 7,5 кГр, для культуры молочнокислых бактерий - МКБ (*Lactobacillus acidophilus* a-146) около 7 кГр. Спорообразующие бактерии (*Bacillus subtilis* 40) полностью погибли уже при дозе в 3 кГр. Определена радиостойчивость D_{10} , которая для МКБ составляет 0,8 кГр, а для дрожжей 1 кГр. Это позволяет оценивать их содержание при облучении продуктов питания, обсеменённых данными микроорганизмами.

Выполнено сравнение результатов радиостойчивости D_{10} микроорганизмов, полученных при облучении на ускорителе электронов, с результатами при облучении на гамма-установке.

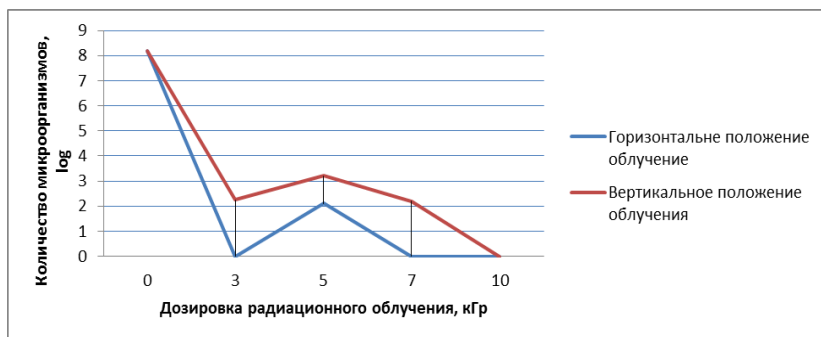


Рисунок 1. Зависимость количества жизнеспособных микроорганизмов *E. coli* от поглощённой дозы облучения в кГр для горизонтально и вертикально расположенных ампул

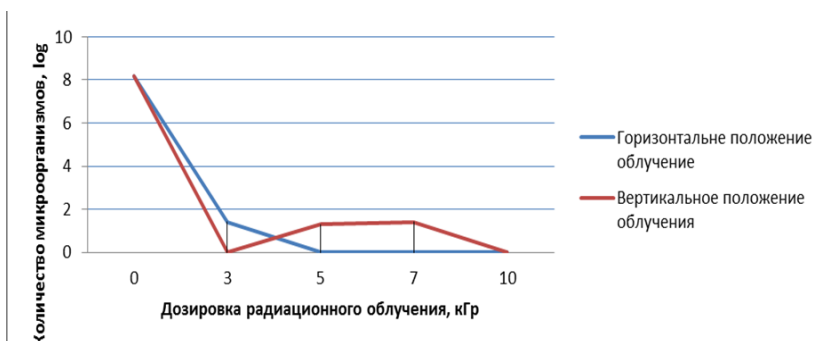


Рисунок 2. Зависимость количества жизнеспособных микроорганизмов *S. aureus* от поглощённой дозы облучения в кГр для горизонтально и вертикально расположенных ампул

Установлено, что радиостойчивость D_{10} многих микроорганизмов составляет несколько кГр, и при облучении сравнительно небольшими дозами можно добиться значительного уменьшения концентрации микроорганизмов в продукте. Подобраны интервалы значений доз для получения баланса между уничтожением патогенной микрофлоры до необходимых значений и сохранением потребительских свойств продуктов. В работе показаны современные тенденции развития радиационных технологий обработки пищевой продукции с помощью ускорителей заряженных частиц в России. Обозначена актуальность создания нормативно-правовой документации и определен круг задач

для дальнейших исследований. Проанализирована возможность использования существующих радиационно-ускорительных комплексов для облучения пищевых продуктов.

Литература

1. Павлов Ю.С., Ершов Б.Г., Доброхотов В.В., Павлов В.А. Материалы V Всероссийская конференция "Актуальные проблемы химии высоких энергий" (г. Москва, 23-24 октября 2012 г.). М.: РХТУ. 2012. С. 80-82.
2. Павлов Ю.С., Ершов Б.Г., Фоменко Ю.Л., Поляков А.А. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Техническая физика и автоматизация, вып. 67 (часть 1). М.: ОАО "НИИТФА", 2013. С. 27-41.
6. Gracheva A.Yu., Zaviyalov M.A., Kondratenko V.V., Filippovich V.P., Pavlov Yu.S., Prokopenko A.V. Proceedings of XXIV Russian Particle Accelerators Conference (RuPAC'2014). October 6-10, 2014, Obninsk, Russia, p. 470-472.
7. Быковченко Т.В., Волкова О.В., Завьялов М.А., Павлов Ю.С., Филиппович В.П., Прокопенко А.В. Научная сессия НИЯУ МИФИ-2014. Аннотации докладов. Том 1. М.: НИЯУ МИФИ. 2014. С. 104.
8. Грачева А.Ю., Завьялов М.А., Павлов Ю.С., Филиппович В.П., Прокопенко А.В. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Техническая физика и автоматизация, вып. 71. М.: АО "НИИТФА". 2015. С. 73-79.
9. Быковченко Т.В., Волкова О.В., Завьялов М.А., Филиппович В.П., Кухто В.А., Павлов Ю.С., Прокопенко А.В. Хранение и переработка сельхозсырья, № 12, 2014. С. 45-49.
10. Грачева А.Ю., Завьялов М.А., Павлов Ю.С., Филиппович В.П., Прокопенко А.В. Научная сессия НИЯУ МИФИ-2015. Аннотации докладов. Том 2. М.: НИЯУ МИФИ. 2015. С. 48.
11. Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Кибина И.И., Павлов А.Н. Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий, №8 2015. С 30-34.
12. Гельфанд С.Ю., Петров А.Н., Филиппович В.П., Прокопенко А.В., Завьялов М.А. Хранение и Переработка сельхозсырья, №2, 2013, С. 25-31.
13. Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Кибина И.И., Павлов А.Н., Тихонов В.Н. Достижения науки АПК, №5, т 29, 2015. С. 87-92.
14. T. Kume, M. Furuta, S. Todorikis, N. Uenoyama, Y. Kobayashi. Radiation Physics and Chemistry. 2009. V. 73. P. 222-226.
15. Государственный стандарт ГОСТ ISO 14470-2014 «Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения продуктов ионизирующим излучением»
16. Чиж Т.В., Козьмин Г.В., Полякова Л.П., Мельникова Т.В. Вестник Российской Академии Естественных Наук, №4, 2011, С. 44-49.

РАДИАЦИОННАЯ СТЕРИЛИЗАЦИЯ ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

**Исамов Н.Н., Козьмин Г.В., Губарева О.С., Рясная Е.И.,
Алешкина Е.Н.**

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», 249032, Калужская область, г. Обнинск,
Киевское шоссе, 109 км, nizomis@yandex.ru*

Увеличение производства агропромышленной продукции и улучшение ее качества являются одной из важнейших задач обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации, решение которой невозможно без внедрения технологий, обеспечивающих рост производства продукции, снижение потерь при ее хранении и переработке. В современных технологических процессах, как правило, применяют химическую обработку сельскохозяйственной и пищевой продукции, использование которой сопряжено с негативными побочными явлениями (отрицательное влияние на здоровье людей, загрязнение вредными веществами, сложность хранения токсических препаратов, высокая стоимость обработки).

К числу перспективных и экологически безопасных технологий можно отнести радиационные технологии (РТ). ФАО ООН, ВОЗ и МАГАТЭ подготовлены многочисленные регламентирующие документы. Для РТ пищевых продуктов разрешено применять установки, со следующими видами ионизирующего излучения: электронное излучение с энергией не более 10 МэВ; γ -излучение радиоизотопа ^{60}Co ($T_{1/2} = 5,27$ года, $E = 1,25$ МэВ); γ -излучение радиоизотопа ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,17$ года, $E = 0,66$ МэВ); тормозное излучение, генерируемое ускорителями с энергией не более 5 МэВ [1].

В 2011 г. Комиссия Европейского Управления по безопасности пищевых продуктов (EFSA) в заключении по вопросам эффективности радиационной обработки и микробиологической безопасности облученной пищи подтвердила перспективность использования ионизирующих излучений в агробiotехнологиях [2].

Проведенные в 50-х годах прошлого века в СССР и за рубежом исследования позволили получить информацию о радиочувствительности микроорганизмов, о дозах ионизирующих излучений, вызывающих бактерицидный эффект и инактивацию разных видов и штаммов бактерий. Следует отметить, что эффективность использования ионизирующих излучений для ингибирования микроорганизмов существенно зависит от величины поглощенной дозы ионизирующего излучения. Гибель основной части бактерий рода сальмонелла происходит при дозах 0,2-1,2 кГр, полная гибель непоробразующих микроорганизмов достигается при дозах 0,25-2,5 кГр, а плесневых грибов при уровнях облучения 2-5 кГр. При γ -

облучении бактерий кишечной группы инактивация их происходит в пределах доз от 0.24 до 1.68 кГр. Гибель клеток культуры бактерий кишечной палочки происходит при дозах около 3 кГр. Если же кишечная палочка находится в смеси с микроорганизмами, образующими споры, то доза облучения, поражающая споры (от 20 кГр до 30 кГр), приведет к гибели и кишечной палочки [3]. Зависимость «доза-эффект», полученная при облучении суспензий бактерий рода *Salmonella*, рода *Escherichia* и споровой суспензии плесневых грибов *Aspergillus fischeri*, представлена на рисунке 1.

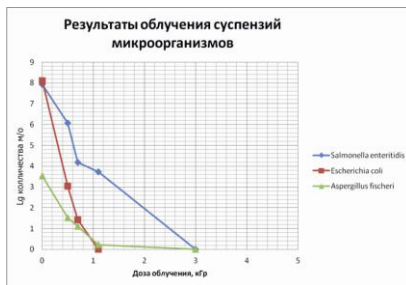


Рисунок 1. Зависимость инактивации микроорганизмов от дозы ионизирующего излучения [4]

Показано, что доза 3 кГр гарантирует гибель выбранных условно-патогенных, патогенных бактерий и спор плесневых грибов [4] В таблице 1 представлена характеристика радиочувствительности основных вегетативных патогенных бактерий (доза, при которой сохраняется 10% вредных патогенов (D_{10})).

Таблица 1. Значения D_{10} (кГр) для болезнетворных микроорганизмов при температурах облучения в диапазоне от 0 до -20°C

Патогенные бактерии	Значение D_{10} (кГр) $0-5^{\circ}\text{C}$	Значение D_{10} (кГр) $\leq -20^{\circ}\text{C}$
Кампилобактер	0.18 ± 0.00	0.24 ± 0.02
Кишечная палочка O157:H7	0.30 ± 0.02	0.57
	0.24 ± 0.01	0.31 ± 0.24
	0.54 ± 0.01	
Листерия моноцитогенес	0.45 ± 0.03	1.21 ± 0.06
	0.59 ± 0.06	0.61 ± 0.04
	0.61 ± 0.06	
Разные виды сальмонелл	0.41 ± 0.00	0.63 ± 0.00
	0.70 ± 0.04	0.92
	0.62 ± 0.09	0.80 ± 0.05
	0.64 ± 0.02	
Стафилококк золотистый	0.46 ± 0.02	0.74
	0.45 ± 0.04	0.45 ± 0.04
	0.66 ± 0.01	
Ерсиния энтероколитика	0.19 ± 0.01	0.40 ± 0.01
	0.25 ± 0.01	0.25 ± 0.01

Радиочувствительность различных микроорганизмов варьирует в широких пределах. Основная часть микроорганизмов, вызывающих порчу продуктов, инактивируется дозами до 6 кГр [4]. Наиболее чувствительны грамотрицательные бактерии. Слабой устойчивостью отличаются психрофильные бактерии. Более устойчивы грамположительные бактерии, особенно некоторые микрококки [6]. В таблице 2 представлены дозы γ -излучения, вызывающие гибель различных микроорганизмов.

Таблица 2. Летальные для микроорганизмов дозы γ -облучения [6]

Микроорганизмы	Доза, кГр	Микроорганизмы	Доза, кГр
<i>Salm. Typhimurium</i>	3	<i>Sarcina lutea</i> Bac. <i>Pumilus</i> (споры)	15-17
<i>E. Coli, Str. Faecalis, Shig dysenteriae</i>	6	<i>Bac. Sabtilis</i> (споры), <i>Clostr. Sporogenes</i> (споры), <i>Aspergillus niveus</i>	20
<i>Micobac tuberculosis</i>	10	<i>Clostr. botulinum</i>	90

На радиочувствительность микроорганизмов влияет множество факторов - тепловой режим облучения, физиологическое состояние микроорганизмов, размеры генома и эффективность репарации радиационных повреждений. Значительно более высокой устойчивостью к ионизирующему излучению обладают споры бактерий. Рекомендуемые для облучения дозы ионизирующего излучения (обычно ниже 10 кГр) уменьшают количество, но не убивают споры патогенных бактерий, таких как *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens* и *Bacillus cereus*.

Бактерицидный эффект радиации на споры в подавляющем большинстве случаев проявляется при дозах облучения не ниже 10-20 кГр. Для полной инактивации спор нужны дозы порядка 15-25 кГр [7, 8]. Споры *B. subtilis* инактивируются гамма-излучением в дозах от 15 до 20 кГр. Такие же большие дозы нужны для инактивации *Clostridium sporogenes*, *Candida albicans*, *Aspergillus niveus* и других видов микроорганизмов.

Изучение микрофлоры подвергавшихся лучевой обработке мясных продуктов показало, что полная инактивация живых клеток достигается для стафилококка и вегетативных клеток *B. cereus* дозами 1.50 кГр, для инактивации кишечной палочки необходима доза 2 кГр, для *Salm. typhimurium* и *Str. faecalis* - 3 кГр, в то время как для спор *B. cereus* и *Cl. bifermentaus* инактивирующая доза повышалась до 20 кГр [9].

Таким образом, радиочувствительность вегетативных форм *B. cereus* больше или не отличается от радиочувствительности неспорообразующих видов микроорганизмов и более чем в 10 раз выше радиочувствительности спор этих же бактерий [2].

Не маловажным обстоятельством является то, что среди микроорганизмов не образующих спор, известны такие, как кокки и сарцины, которые отличаются чрезвычайно высокой радиорезистентностью, а в ряде случаев превышающей радиорезистентность самых устойчивых спор. Применение ионизирующей радиации для стерилизации пищевых продуктов и других материалов показало, что облучение в дозах 20-30 кГр ингибирует 99,9% микроорганизмов в стерилизуемом объекте. Однако 0,05-0,1% микроорганизмов остаются живыми. Эти микроорганизмы оказались высокорезистентными кокками, и для полной стерилизации пищи и других материалов приходилось применять дозы значительно выше 20 кГр. Чистая культура на плотных питательных средах этих микроорганизмов, идентифицированных как *Micrococcus roseus* и *Micrococcus tetragenus*, выдерживала облучение с дозой 60 кГр. Устойчивость их к радиации была в 6-8 раз выше устойчивости спорообразующих микроорганизмов [2].

Радиационная технология обработки мяса и ряда мясных продуктов может быть использована для увеличения сроков хранения сырого говяжьего и свиного мяса, мяса птиц, мясных полуфабрикатов из говядины, свинины, крольчатины и мясных кулинарных изделий. Существующие традиционные технологии переработки мяса предусматривают использование специального оборудования для холодильной обработки мясопродуктов (охлаждение при температуре 4-5 °С, замораживание), больших затрат энергии, а также применение химических консервантов [10].

Следует отметить следующие преимущества радиационно-биологической технологии сохранения и консервирования мяса и мясопродуктов.

При облучении мясопродуктов в дозах от 0,1 до 1 кГр на 90% снижается микробное число возбудителей кишечных инфекций, обусловленных *Salmonella*; *E. coli* O157:H7; *Clostridium perfringens*; *Staphylococcus aureus*; *Listeria monocytogenes*; *Campylobacter jejuni*; а также *Toxoplasma gondi* - возбудителя паразитарного заболевания человека и животных; полная инактивация патогенной микрофлоры происходит при дозе 7 кГр.

Радиационная обработка трихинеллезных свиных туш дозой 0,3 кГр инактивирует личинки трихинелл. В целом, большое количество паразитических простейших и гельминтов может быть убито дозами менее 1 кГр без изменения вкуса пищи [5]. В зависимости от дозы (1.5-4.0 кГр) облучения увеличиваются от 2 до 5 раз сроки хранения продуктов за счет подавления различных групп микроорганизмов вызывающих порчу мяса и влияющих на пищевую безопасность мясопродуктов [11]. Облучение дозой 3 кГр копчено-вареных кореек, грудинок и полукопченой украинской колбасы, упакованных в полимерные пленки под вакуумом обеспечило сохранность без порчи и

ухудшения качества при комнатной температуре в течение 45 дней, что в 3 раза превышает срок хранения необлученных изделий [12].

Для обработки продукта можно использовать современные упаковочные материалы (полимеры), устойчивые к воздействию ионизирующего излучения в дозах до 10 кГр. Дозы 4-6 кГр позволяют увеличить срок хранения куриных тушек при температуре 1 °С от 10 до 34 суток, а упаковка под вакуумом в полимерную пленку с последующей радиационной обработкой дозой 6 кГр обеспечивает хранение при 3 °С в течение 30 суток [6].

Птица, зараженная возбудителем сальмонеллеза, может откладывать инфицированные яйца. В настоящее время для ингибирования сальмонелл проводят облучение не яиц, а яичного порошка дозой 2 кГр, при этом количество сальмонелл уменьшается в 1000 раз, а органолептические свойства и питательная ценность не меняются [5].

Таким образом, внедрение РТ с использованием ионизирующих излучений может стать надежным и экологически безопасным методом сохранения продуктов животноводства и сыграть важную роль в обеспечении продовольственной безопасности России.

Литература

1. Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания. Совместная программа ФАО/ВОЗ по стандартам на пищевые продукты. - М.: Весь Мир, 2007. - 21 с.
2. Statement Summarizing the Conclusions and Recommendations from the Opinions on the Safety of Irradiation of Food adopted by the BIOHAZ and CEF Panels // EFSA Journal 2011. 9(4): 2107
3. Бондаренко А.П. Основы радиационной экологии: учебно-методическое пособие. Ч. 2.- Павлодар, 2007.- 100 с.
4. Исследование воздействия ионизирующего излучения на культурные растения, патогенные и условно патогенные микроорганизмы для создания научных основ применения радиационных технологий в сельском хозяйстве. Отчет по государственному контракту №14.512.11.0059 / Санжарова Н.И., Гераскин С.А., Козьмин Г.В. и др.-Обнинск, ВНИИСХРАЭ, 2013. -96 с.
5. Безопасность и пищевая ценность облученной пищи. - М.: Медицина, 1995.- 209 с.
6. Кузин А.М., Каушанский Д.А. Прикладная радиобиология. - М.: Энергоиздат, 1981. - 221 с.
7. Мейсель М.Н., Черняев Н.Д. Научные и практические вопросы лучевой стерилизации и пастеризации // Вестник АН СССР. 1956. № 11. - С. 38-45.
8. Троицкий В.Л., Туманян М.А. Влияние ионизирующих излучений на иммунитет. - М.: Гос. изд. Мед. Лит., 1958. - 198 с.
9. Лузина Н.И. Микробиология мяса и мясных продуктов. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. 2004. - 75 с.
10. Русаков В.Н., Таршис М.Г. Переработка и хранение продуктов животноводства. Изд.2-е, перераб. и доп.- М: Россельхозиздат, 1972. - 192 с.
11. Andrews L.S. et al. Food Preservation Using Ionizing Radiation // Review of Environmental Contaminant Toxicology. 1998. V. 154. P. 1-53.
12. Метлицкий Л.В., Рогачев В.И., Хрущев В.Г. Радиационная обработка пищевых продуктов. - М.: Экономика, 1967. - 160 с.

РАДИАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ (РЫБНЫХ ПРЕСЕРВОВ) НА ЭЛЕКТРОННОМ УСКОРИТЕЛЕ

Кобялко В.О.¹ Козьмин Г.В.,¹ Лыков И.Н.,² Саруханов В.Я.,¹ Полякова И.В.,¹ Фролова Н.А.,¹ Брызгин А.А.³

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», 249032, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, kobyalko@yandex.ru

²ФГБОУ ВПО «Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского»

³ФГБУН «Институт ядерной физики имени Г. И. Будкера СО РАН»

В радиационных технологиях, направленных на обеспечение микробиологической безопасности и увеличение сроков хранения сельскохозяйственного сырья и пищевой продукции, используются установки, с несколькими видами ионизирующего излучения: электронного - с энергией не более 10 МэВ, γ -излучения радиоизотопа ^{60}Co ($E = 1,25$ МэВ), γ -излучения радиоизотопа ^{137}Cs ($E = 0,66$ МэВ) и тормозного излучения, генерируемого ускорителями электронов с энергией квантов не более 5 МэВ [1, 2]. В нашей стране активно развивается производство промышленных электронных ускорителей (ЭУ), обеспечивающих большую мощность дозы и равномерность облучения (до 5 см). Для этих установок необходим поиск режимов радиационной обработки (РО) различных видов продукции. Особый интерес представляет РО многокомпонентных продуктов со сложным физико-химическим и микробиологическим составом (например, рыбных пресервов). В связи с этим целью работы стало исследование эффективности воздействия РО на электронном ускорителе с разными дозиметрическими параметрами на показатели качества и безопасности многокомпонентных пищевых продуктов (рыбных пресервов) в разные сроки хранения после облучения.

Исследования были выполнены с использованием образцов рыбных пресервов, одновременно изготовленных, согласно ТУ 9272-099-00472124-03 из идентичных компонентов и представляющих собой, кусочки филе тихоокеанской сельди, расфасованные в герметичную пластиковую тару и залитые подсолнечным маслом. Свежеприготовленная партия была разделена на 10 частей по 10 банок (вес одной банки 200 г) и подвергнута воздействию ионизирующего излучения в дозах 1,5, 3,0 и 6 кГр. Облучение образцов проводили на импульсном ускорителе электронов (ИЛУ 10) - с энергией электронов 4,8 МэВ, мощность дозы в режиме тормозного рентгеновского излучения - 8,1 Гр/с, в режиме электронного – 83,3 и 250 Гр/с (ИЯФ им. Будкера, г. Новосибирск). Измерение поглощенной дозы (ПД)

осуществляли дозиметрическими приборами, прошедшими метрологическую аттестацию. Погрешности измерения поглощенных доз с использованием тонкопленочных детекторов на полимерной основе и дозиметров Фрике, как правило, не превышали 10–12 % при доверительной вероятности 0,95. Радиационную обработку продукции выполняли при $20 \pm 5^\circ\text{C}$ от 14 до 140 минут в зависимости от выбранных режимов. Транспортировку продукции осуществляли в термоконтейнерах при температуре $+5 \pm 3^\circ\text{C}$. Хранение рыбных пресервов осуществляли в бытовом холодильнике при $t = +5 - +8^\circ\text{C}$. Образцы исследовали, через 10, 95 и 185 суток после РО. Из контрольных и облученных в разных дозах банок с рыбными пресервами отбирались пробы для определения сенсорных (органолептических), физико-химических и микробиологических показателей, которые проводили в соответствии с нормативными документами (ГОСТ 7453-86, ГОСТ 27082-89, МУ 4274-87, ГОСТ 30418-96, ТР ТС 021/2011, ГОСТ Р 52814-2007, МУК 4.2.1122-02, ГОСТ 10444.15-94, ГОСТ Р 52816-2007, ГОСТ Р 52815-2007, ГОСТ 29185-91, ГОСТ 10444.12-88).

Качество и безопасность продуктов питания (рыбных пресервов) определяется совокупностью контролируемых показателей, соответствующих санитарно-гигиеническим требованиям на данный вид продукции. В контрольных и опытных образцах через 10 суток после радиационной обработки отсутствовали такие патогенные микроорганизмы как сальмонеллы, БГКП, листерии, стафилококки и сульфитредуцирующие клостридии, а также плесени. В то же время КМАФАнМ в контроле составляло $1,6 \cdot 10^7$ КОЕ/г, что на 2 порядка выше нормы. Превышение норматива для дрожжей составляло 50%. Необходимо отметить, что уже на этом этапе исследований регистрировали нарушение сенсорных характеристик контрольной продукции по данным органолептического анализа. Показатели жирнокислотного состава подсолнечного масла соответствовали нормативным значениям, так же как перекисное число и кислотность мяса рыбы. Уровень гистамина не превышал 14,0 мг/кг при значении норматива 100 мг/кг. Хранение контрольной продукции в течение 95 суток характеризовалось снижением КМАФАнМ до уровня 10^4 КОЕ/г, что соответствует нормативным значениям, при возрастании до $3 \cdot 10^4$ КОЕ/г количества дрожжей. Через 185 суток происходило возрастание КМАФАнМ до $2 \cdot 10^8$ КОЕ/г и снижение количества дрожжей до 10^3 КОЕ/г. При этом процесс порчи продукта на 95 сутки и 185 сутки развивался и к заключительным срокам исследования характеризовался резким гнилостным запахом и нарушением плотности мяса рыбы. Обнаруженная динамика микробиологического загрязнения отражает конкурентные взаимоотношения различных групп микроорганизмов в специфической (анаэробной) среде рыбных пресервов.

Облучение продукции в электронной и рентгеновской моде приводило к зависящему от дозы снижению КМАФАнМ до уровня, соответствующего нормативу, за одним исключением (доза облучения 1,5 кГр, м.д. 250 Гр/с). Количество дрожжей снижалось до уровня <10 КОЕ/г при всех режимах радиационной обработки. Максимальный эффект отмечали при дозах в диапазоне от 3 до 6 кГр. Относительная эффективность была выше для электронного облучения с мощностью дозы 83,3 Гр/с и рентгеновского, а так же существенно выше, чем облучение на γ -установке с мощностью дозы 1,5 Гр/с [3] (Рисунок 1).

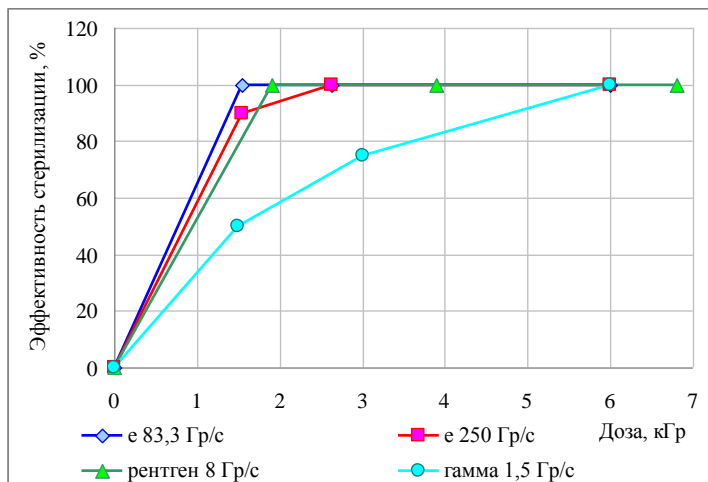


Рисунок 1. Относительная эффективность радиационной стерилизации рыбных пресервов в зависимости от дозиметрических параметров

Во время хранения динамика микробиологической загрязненности продукции в разные сроки после облучения определялась несколькими факторами: параметрами радиационного воздействия и реакцией на него обнаруженных в продукции групп микроорганизмов. Для показателя общей микробной обсемененности зависимость от дозы и мощности дозы была наиболее выражена в первые сутки после облучения. Так, через 10 суток после облучения отмечали зависимость от дозы снижение КМАФАнМ при всех режимах работы ускорителя – электронном и рентгеновском. Количество дрожжей достигало минимальных значений (<10 КОЕ/г) уже при дозе воздействия – 1,5 кГр. В итоге было достигнуто соответствие показателей микробиологической безопасности рыбных пресервов санитарно-гигиеническим требованиям. Через 95 суток хранения было показано, что микробиологическая загрязненность продукта обусловлена дрожжами, количество которых определяло уровень показателя

КМАФАнМ образцов всех вариантов режимов облучения. При этом для рентгеновского облучения в дозах 3,8 и 6,8 кГр и электронного в дозе 6 кГр с мощностью 83,3 Гр/с показатель количества дрожжей соответствовал нормативу ($<10^2$ КОЕ/г). В других вариантах облучения содержание дрожжевых грибов в образцах его превышало. Органолептические показатели облученных рыбных пресервов, уровень гистамина, кислотность мяса рыбы – соответствовали норме. Дальнейшее хранение облученной продукции вплоть до 185 суток продемонстрировало отсутствие порчи продукта для всех режимов радиационной обработки в дозах более 3 кГр. При этом показатель КМАФАнМ не превышал уровня нормативных значений, достигая величины $2-4 \cdot 10^4$ КОЕ/г, и определялся количеством дрожжевых грибов, которое к этому времени достигло величины 10^4 КОЕ/г во всех облученных образцах. Нарушение сенсорных характеристик отмечали в рыбных пресервах, облученных в дозе 1,5 кГр. Необходимо отметить, что морфологический анализ дрожжевых колоний, высеченных из облученных образцов, продемонстрировал уменьшение их размера, которое регистрировали как сразу после воздействия, так и в процессе хранения продукта (Рисунок 2). Вероятно, ионизирующее излучение вызывало диссоциацию микроорганизмов. В ходе таких процессов происходит изменение не только морфологических, но и биохимических свойств микробных клеток. Очень часто это связано с уменьшением количества копий плазмид, замедлением скорости репликации, изменением процессов метаболизма, за счет изменения состава выделяемых ферментов [4]. Это объясняет уменьшение диаметра колоний и их консистенции, поскольку сообщество не имеет возможности нормально развиваться.

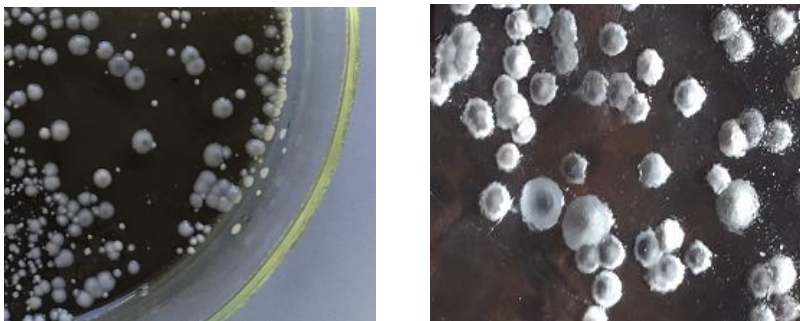


Рисунок 2. Морфологическое состояние колоний дрожжей из контрольных (справа) и облученных (слева) рыбных пресервов

Такие модификационные изменения могут восстановиться в последующих поколениях при пассажах на средах с углеводами и ростовыми факторами, но в условиях ограниченного питательного

ресурса замкнутой системы рыбных пресервов наблюдаемый эффект становится более пролонгированным. Этот факт может объяснять отсутствие порчи продукта при регистрируемом высоком уровне содержания дрожжей в облученных образцах во время хранения. Выполненные ранее исследования показали, что облученные дрожжевые клетки обладают сниженной метаболической активностью [1]. Обнаруженное изменение состава и уменьшение выброса экзометаболитов в среду обитания способствует торможению процессов порчи, что обеспечивает увеличение сроков безопасного хранения продукта.

Из представленных результатов следует, что использование электронных ускорителей в радиационной обработке многокомпонентных пищевых продуктов, готовых к употреблению (рыбных пресервов) исключительно перспективно для достижения микробиологической безопасности продукции, которая не может быть достигнута никаким иным способом. При облучении в дозах от 3 до 6 кГр нарушений основных качественных показателей составляющих ее компонентов не обнаружено. Эффективность радиационной обработки высока как при облучении в электронном, так и рентгеновском режимах работы установки и значительно превышает этот показатель для γ -установок. Во время хранения облученной продукции устойчивый антибактериальный эффект сохраняется в течение 95 суток при дозах воздействия более 3 кГр. При более низких дозах облучения уровень общей микробной обсемененности обусловлен дрожжевыми клетками и возрастает до критического, а по количеству дрожжевых грибов превышает нормативное значение. Через 185 суток количество дрожжей превышает норматив во всех вариантах радиационной обработки. Тем не менее, порчи продукта не происходит, что связано со сниженной метаболической активностью дрожжевых грибов, которые не выделяют в среду экзоферментов и др. веществ, отрицательно сказывающихся на потребительских свойствах продукции и сроках ее хранения.

Литература

1. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности / Под общ. ред. Г.В. Козьмина, С.А. Гераськина, Н.И. Санжаровой. Москва-Обнинск: ИНФОРМПОЛИГРАФ. 2015. 400 с.
2. Irradiation of Food Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion / ed. Ioannis S. Arvanitoyannis. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo. Academic Press is an imprint of Elsevier. 2010. 710 p.
3. Козьмин Г.В., Кобялко В.О., Лыков И.Н., Саруханов В.Я., Зякун А.М., Павлов А.Н., Николаева Т.С., Фролова Н.А., Логинов А.А. Радиационные агротехнологии: исследование микробиологической безопасности и качества облученной продукции // Труды регионального конкурса проектов

фундаментальных научных исследований. Вып. 20. – Калуга: Калужский государственный институт развития образования, 2015. С. 216–225.

4. Лыков И.Н., Шестакова Г.А. Микроорганизмы. Биология и экология. Калуга:Издатель Захаров С.И. («СерНа»), 2014. 400с.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 14-44-03095

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ И ДРУГИХ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В АГРОБИОТЕХНОЛОГИЯХ

**Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Павлов А.Н., Тихонов В.Н.,
Пронина О.Э.**

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», 249032, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, kozmin@obninsk.ru

Основные причины потерь сельскохозяйственной продукции (до 40%) связаны с поражением зерна и зернопродуктов насекомыми-вредителями, преждевременным прорастанием корнеплодов, бактериальной порчей муки, мяса, рыбы и других продуктов питания в процессе хранения [1, 2]. Обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации невозможно без применения в агропромышленной сфере эффективных и экологически безопасных технологий, среди которых наиболее перспективны радиационные агротехнологии. Радиационные технологии (РТ) можно использовать для повышения урожайности и улучшения качества продукции, продления сроков ее хранения с одновременным снижением потерь, уничтожения патогенной микрофлоры и насекомых-вредителей. Эти технологии опираются на знания фундаментальных законов ядерной физики и радиационной химии, биофизики и радиобиологии, требуют разработки специфических технологических процессов и создания специальной радиационной техники. По сравнению с обычными методами, РТ менее энергозатратны и позволяют заменить или резко снизить использование пищевых консервантов, фумигантов и других химических препаратов.

К радиационным технологиям относят применение внешних источников излучений различных длин волн, изменяющих свойства сельскохозяйственного сырья и готовой продукции, а также семенного материала в целях достижения компетенций, представленных в таблице 1.

Таблица 1. Компетенции радиационных технологий в зависимости от дозовых характеристик ионизирующих излучений [1, 2]

Компетенция	Физический фактор*	Облученные продукты
Низкая доза		
Стимуляция и обеззараживание семян сельскохозяйственных культур	ИИ, УФ, СВЧ	Семена сельскохозяйственных культур
Задержка прорастания	ИИ	Картофель, лук, чеснок,

корнеклубнеплодов и луковиц, заложенных на хранение		корнеплоды, имбирь и т.п.
Уничтожение насекомых-вредителей	ИИ, СВЧ	Зерно, крупы, мука, орехи, семена масличных культур и бобовых, свежие и сушеные фрукты и овощи, вяленая рыба и т.п.
Задержка созревания фруктов	ИИ	Свежие фрукты
Средняя доза		
Инактивация отдельных патогенов и /или уничтожение различных паразитарных организмов	ИИ, УФ, СВЧ	Пищевая продукция животного и растительного происхождения
Увеличение срока годности за счет сокращения численности микроорганизмов, вызывающих порчу пищевых продуктов	ИИ, УФ, СВЧ	Фрукты, овощи, мясо, мясной фарш, полуфабрикаты и готовые блюда
Инактивация неспорообразующих бактерий (<i>Salmonella</i> , <i>Campylobacter</i> , <i>Listeria</i>) в свежей и замороженной пище	ИИ, УФ, СВЧ	Свежие и замороженные продукты животного и растительного происхождения
Стерилизация и улучшение технологических свойств пищи, сокращение времени сушки и кулинарной обработки	ИИ, СВЧ	Ягоды (повышение выхода сока), сушеные овощи (сокращение времени кулинарной обработки)
Снижение численности микроорганизмов в специях и других сухих ингредиентах	ИИ	Специи, сушеные пищевые ингредиенты
Высокая доза		
Производство микробиологически безопасной пищевой продукции с использованием тепловой инактивации и радиационной стерилизации после замораживания	СВЧ+ИИ, ИИ	Мясо, птица, фарш, морепродукты, готовая пища, стерилизованные больничные диеты

* *Примечание: в таблице представлены физические факторы, нашедшие наиболее широкое практическое использование в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. ИИ – ионизирующие излучения, УФ – ультрафиолетовое излучение, СВЧ – электромагнитное излучение с частотами 3 – 30 ГГц. В современных научных исследованиях применяется более широкий перечень физических факторов.*

В основе любой радиационной биотехнологии лежат закономерности действия ионизирующих и неионизирующих излучений

в зависимости от спектрально-временных параметров электромагнитных излучений и поглощенной дозы на семена, вегетирующие сельскохозяйственные растения и животных (компетенции стимуляции и подавления роста и развития), а также паразитов и вредных микроорганизмов (компетенции дезинсекции и стерилизации продукции агропромышленного производства).

Для практического использования РТ в сельском хозяйстве в различных странах мира и в Российской Федерации разработаны установки с использованием изотопных источников γ -излучения, ускорителей электронов, вакуумных и газоразрядных устройств. В частности, в 69 странах действует разрешение на облучение ионизирующими излучениями более чем 80 видов продукции, около 40 стран проводят облучение пищевой продукции на постоянной основе. Создано около 220 специализированных радиационных центров по облучению сельскохозяйственной продукции и продуктов питания [2]. В Китайской народной республике, занимающей лидирующее положение в области применения РТ, уже к 1994 г. были приняты 18 национальных стандартов по облучению 17 групп продукции растительного и животного происхождения, включающих различные виды сельскохозяйственного сырья и готовой продукции. В настоящее время бурно развиваются рынки РТ в странах Юго-Восточной Азии и Южной Америки. Значительную часть облученной продукции в этих странах представляют фрукты, радиационную обработку которых проводят в целях задержки процессов созревания и дезинсекции, что особенно важно при экспорте данной продукции. В Индонезии действует разрешительная система на облучение 12, а в республике Корея – на 26 групп продукции агропромышленного производства. В республике Бангладеш, где за последнее десятилетие отмечается активное развитие рынка РТ, проводится облучение 18 видов сельскохозяйственных и пищевых продуктов [2].

За период с 2011 по 2015 гг. радиационная обработка сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов получила разрешение в Монголии, Малайзии, Непале, Мьянме и в странах Евразийского Союза. Общий годовой объем облученной продукции в мире к настоящему времени оценивается в 700-800 тыс. т, а рынок облучения – на сумму более 2 млрд. \$ и имеет устойчивую тенденцию роста. Ожидается, что рынок к 2020 г. составит 4,8, а к 2030 г. – 10,9 млрд. \$. В соответствии с «Решениями по итогам заседания президиума Совета при Президенте России по модернизации экономики и инновационному развитию» от 11 декабря 2014 г. поставлена задача по разработке отечественной нормативной базы применения радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. В 2015 г. утвержден основополагающий нормативный документ - Государственный стандарт ГОСТ ISO 14470-

2014 «Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением». Настоящий нормативный документ одобрен Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации и принят к действию на территории стран, входящих в Содружество Независимых Государств.

В Российской Федерации и странах Таможенного Союза имеются многочисленные научные разработки радиационных технологий, гамма-установок и ускорителей электронов для облучения сельскохозяйственной и пищевой продукции. В частности, во ВНИИРАЭ проводятся исследования в области радиационной стерилизации продукции растительного происхождения и закономерностей проявления эффектов стимуляции при облучении семян сельскохозяйственных культур. Сушеные овощи, фрукты, травы, специи и семена сельскохозяйственных растений подвергаются радиационной обработке на модернизированной γ -установке ГУР-120. В результате выполненных исследований и экспериментально-производственной апробации радиационной технологии были отработаны режимы облучения для основных видов пряностей (черный перец, тмин, кардамон, корица, кориандр и т.д.), сушеных трав (укроп, петрушка и др.), какао-порошка и ряда овощей, используемых в пищевой промышленности.

Совместно с Институтом ядерной физики (ИЯФ) им. Г.И. Будкера и НИИ технической физики и автоматизации проводится апробация экспериментально-производственных процессов облучения на ускорителях электронов. Размах современного внедрения электронно-лучевых установок, производительность которых примерно в 15-20 раз выше по сравнению с γ -установками, наглядно иллюстрирует факт, что ежегодный прирост новых радиационных центров с использованием ускорителей электронов составляет несколько десятков, в том числе в Китае в строй вводится более 50 ускорителей в год [3]. В Российской Федерации ИЯФ им. Г.И. Будкера создан крупный радиационный центр в Новосибирской области, Государственной корпорацией «Росатом» завершается создание двух центров радиационной стерилизации в России, один из которых представлен Обнинским радиационным кластером на базе Обнинского филиала ОАО ГНЦ «Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова» (НИФХИ) и ВНИИРАЭ.

В настоящее время одним из приоритетных направлений в науке и технике является изучение и практическое применение в сельском хозяйстве неионизирующих диапазонов электромагнитного излучения. Разработанная во ВНИИРАЭ специализированная линейка облучательных установок получила положительную экспертную оценку на Российской агропромышленной выставке «Золотая осень»,

Московском международном салоне инноваций и инвестиций, Международном форуме «Крым НИ-ТЕСН-2014» и удостоена медалей и дипломов за разработку СВЧ установки для размягчения пищевых продуктов, установки для предпосевной обработки семян различных сельскохозяйственных культур, установки для обработки ультрафиолетом картофеля и овощных культур, микроволновой установки для обработки и сушки сыпучих продуктов, установки для уничтожения жуков точильщиков и противогрибковой обработки конструкций. Выполненные разработки демонстрируют широкий спектр прикладных задач в области сельского хозяйства, которые могут быть успешно решены с использованием факторов физической природы.

Если внимательно проанализировать области применения радиационных технологий, основанных на использовании различных физических воздействий, то несложно заметить, что каждая из технологий занимает определенную собственную нишу. Так, например, очевидно, что радиационная стерилизация и дезинсекция больших промышленных объемов сельскохозяйственной продукции целесообразна на базе крупных радиационных центров, использующих мощные γ -установки и ускорители электронов. С другой стороны, конечно же, нецелесообразно на базе этих центров облучать зерно, муку и хлебопродукты, производимых малыми предприятиями. Эта задача с успехом может быть решена с применением γ -установок небольшой мощности, мобильных и стационарных установок ультрафиолетового или СВЧ-излучения.

Обращают на себя внимание современные исследования, которые показывают возможность создания энергосберегающих технологий на основе применения низкоинтенсивных электромагнитных излучений (ЭМИ). Современные теоретические и прикладные аспекты влияния ЭМИ на живые организмы [2] легли в основу следующей парадигмы, определяющей перспективность поиска оптимальных параметров воздействия: «Для достижения стимулирующего или ингибирующего позитивного эффекта всегда найдется вполне определенная комбинация факторов физической природы и такие их биотропные параметры, которые обеспечат гарантированное получение искомого эффекта» [4]. Можно предположить, что такие наукоемкие технологии явятся технологиями будущего.

Внедрение РТ с использованием ионизирующих и неионизирующих излучений может стать надежным и экологически безопасным методом сохранения сельскохозяйственной продукции и сыграть важную роль в обеспечении продовольственной безопасности России. Радиационные технологии способны решить многие актуальные вопросы импортозамещения, экологически безопасны, конкурентоспособны, экономически эффективны и встраиваемы в

традиционные технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. Перспективы создания и внедрения в агропромышленное производство прорывных инновационных технологий, основанных на использовании ионизирующих излучений и других физических факторов, органически связаны с широким спектром фундаментальных и прикладных исследований, требующих кооперации институтов РАН в рамках единой научной программы.

Литература

1. Irradiation of Food Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion / ed. Ioannis S. Arvanitoyannis. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo. Academic Press Elsevier. 2010. 710 p.
2. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности / Под ред. Г.В. Козьмина, С.А. Гераськина, Н.И. Санжаровой. Обнинск-Москва: ИНФОРМПОЛИГРАФ. 2015. 400 с.
3. Ершов Б.Г. Радиационные технологии: Возможности, состояние и перспективы применения // Вестник РАН. 2013. Т. 83. № 10. С. 885-895.
4. Козьмин Г.В., Коржавый А.П., Санжарова Н.И. Экологически безопасные и энергосберегающие наукоемкие технологии с использованием вакуумных и плазменных приборов // Наукоемкие технологии. 2012. Т. 13. № 10. С. 64-74.

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ ЗЕРНА И ЗЕРНОПРОДУКТОВ

Лой Н.Н., Гулина С.Н., Шагина Н.И., Миронова М.П.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», 249032, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, loy.nad@yandex.ru

По данным ФАО, ежегодно насекомые вредители запасов поедают до 15% зерна, производимого в мире, а в отдельных развивающихся странах, 30% и даже 50%. Ежегодно теряется от вредителей хлебных запасов при хранении десятки млн. тонн зерна. При широко развитой мировой торговле зерном, мукой и другими продуктами амбарные вредители распространились по всему земному шару. Они вызывают большие потери зерна и порчу его, снижают хлебопекарные качества муки и кормовую ценность зернофуража, комбикормов.

В литературе имеются сведения о действии ионизирующих излучений на насекомых-вредителей, но они получены в основном в 60-ые и 70-ые годы прошлого столетия [1, 2, 3] и поэтому требуют проверки с целью уточнения эффективности облучения в зависимости от дозы и мощности излучения.

Целью работы являлось изучение влияния ионизирующих излучений на жизнеспособность насекомых-вредителей для разработки радиационных технологий по обеззараживанию зерна и зернопродуктов.

Объектом исследований являлись яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта Нур, зернопродукты (мука ржаная и кукурузная, крупа манная) и насекомые-вредители – малый хрущак (*Tribolium confusum* Duv.) и амбарный долгоносик (*Calandra granaria* L.).

Зерно и зернопродукты (мука, манка), зараженные вредителями, облучали на установке ГУР-120 в диапазоне доз 200-1000 Гр, мощность дозы 100-120 и 500 Гр/ч.

Установка ГУР-120 состоит из восьми блоков-облучателей, четыре напротив четырёх, заряженных источниками ГИК-7-4, общей активностью ^{60}Co $13,8 \times 10^{14}$. Тип – стационарная, исследовательская с сухим способом защиты. Управление осуществляется с пульта управления и предусматривает возможность ручного и автоматического управления по программе.

Для измерения поглощённых доз в воздухе и материале объектов использован современный клинический дозиметр ДКС-101.

Зараженность зерна и зернопродуктов (мука, манка) определяли по ГОСТу 13586.4-83 и ГОСТу 27559-87 соответственно [4, 5].

Определение качества зерна и зернопродуктов (содержание золы, протеинов, жира, клетчатки, сухого вещества, безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ)). Данные показатели определяли методом диффузной отражательной спектроскопии в ближней ИК-области спектра на ИК-анализаторе «Инфрапид-61». При анализе образец измельченного продукта помещали в кювету с прозрачным окном и освещали излучением с длинами волн, лежащими в ближней ИК-области спектра. Время анализа – 2 минуты, что включает снятие спектра встроенного в прибор эталона, снятие спектра анализируемого образца, и обработку полученных данных при помощи встроенного в прибор внешнего компьютера [6].

Исследования по изучению влияния гамма-излучения на жизнеспособность насекомых-вредителей в зависимости от дозы и мощности дозы излучения проводили на зараженном зерне и зернопродуктах.

Зерно ячменя сорта Нур, естественно зараженное личинками хрущака облучали в интервале доз 700-1000 Гр при мощности дозы 120 Гр/час. Проверка зараженности зерна через 15 суток после облучения показала, что количество живых личинок хрущака снижалось с ростом дозы облучения, но оставалось достаточно высоким, средняя плотность зараженности составила 20-60 экз./кг (таблица 1). Во время учета зараженности ячменя через 30 сут после облучения установлено, что личинки хрущака полностью погибли при всех дозах облучения.

Таблица 1. Влияние гамма-облучения на зараженность зерна ячменя хрущаком

Доза облучения, Гр	Виды вредителей	Средняя плотность зараженности зерна после облучения, экз./кг	
		через 15 сут	через 30 сут
0 (К)	Хрущак (личинка)	0	0
700		40	0
800		60	0
900		20	0
1000		20	0

Облучение зерна ячменя в том же интервале доз (700-1000 Гр), но при более высокой мощности дозы – 500 Гр/час (таблица 2), оказалось летальным для хрущака как на стадии личинок, так и на стадии взрослого жука уже через 15 дней после облучения, что свидетельствует о влиянии мощности излучения на изучаемый эффект - с увеличением мощности, доза облучения для получения полной гибели насекомых-вредителей снижается, несмотря на то, что вредитель находился на разных стадиях онтогенеза, различающихся по чувствительности к радиации.

Таблица 2. Влияние гамма-облучения на зараженность зерна ячменя хрущак

Доза облучения, Гр	Виды вредителей	Стадия развития	Средняя плотность заражения до облучения, экз/кг	Средняя плотность зараженности зерна после облучения, экз./кг	
				через 15 сут	через 30 сут
0 (К)	Хрущак	жук	100	100	100
700		жук	100	0	0
800		жук	60	0	0
900		жук	380	0	0
		личинка	60	0	0
1000		жук	320	0	0
		личинка	180	0	0

Эффективность облучения при мощности 500 Гр/час составила 100% уже при первом учете зараженности через 15 сут после облучения, тогда как при мощности 120 Гр/час – только через 30 сут после облучения.

Эффективность облучения рассчитывали по формуле:

$$\mathcal{E} = [(K_n - K_0)/K_n] \cdot 100,$$

где: \mathcal{E} – эффективность облучения в процентах, K_n – количество насекомых в 1 кг необлученного продукта, K_0 - количество насекомых в 1 кг продукта после облучения.

Облучение муки ржаной, зараженной долгоносиком, дозами 200, 300, 400 и 500 Гр (мощность дозы 100 Гр/час) выявило его высокую эффективность – через 15 сут после облучения количество живых особей долгоносика сократилось на 94,7-100%, а при дозе 500 Гр отсутствовало полностью (эффективность облучения составила 100%) (таблица 3).

Таблица 3. Влияние гамма-облучения на зараженность муки ржаной долгоносиком

Доза облучения, Гр	Виды вредителей	Стадия развития	Средняя плотность заражения до облучения, экз/кг	Средняя плотность зараженности муки после облучения, экз./кг	
				через 15 сут.	через 30 сут
0 (К)	долгоносик	жук	360	480	440
		личинка	40	0	0
200		жук	600	20	20
		личинка	0	0	0
300		жук	660	0	0
		личинка	20	20	0
400		жук	380	20	0
	личинка	0	0	0	
500	жук	680	0	0	
	личинка	0	0	0	

Через 30 сут после облучения живые особи жука долгоносика обнаружены только в пробе, облученной дозой 200 Гр – средняя плотность зараженности составила 20 экз/кг, т.е. эффективность облучения была на уровне 96,7% как и через 15 сут после облучения (таблица 3).

Увеличение диапазона доз облучения до 600-900 Гр при той же мощности дозы (100 Гр/час) показало большую результативность – уже через 15 сут после облучения при всех дозах зараженность муки кукурузной долгоносиком снизилось до нуля (эффективность облучения 100%), кроме дозы 700 Гр, где средняя плотность заражения жуком долгоносиком составила 20 экз/кг (эффективность облучения – 66,7%) (таблица 4).

Таблица 4. Влияние гамма-облучения на зараженность муки кукурузной долгоносиком

Доза облучения, Гр	Виды вредителей	Стадия развития	Средняя плотность заражения до облучения, экз/кг	Средняя плотность зараженности муки после облучения, экз./кг	
				через 15 сут	через 30 сут
0 (К)	долгоносик	жук	180	140	80
		личинка	20	0	20
600		жук	20	0	0
		личинка	0	0	0
700		жук	60	20	0
		личинка	0	0	0
800	жук	40	0	0	
	личинка	0	0	0	
900	жук	20	0	0	
	личинка	0	0	0	

В результате учета зараженности через 30 сут после облучения наличие живых жуков долгоносиков не выявлено (эффективность облучения - 100%).

Облучение крупы манной, зараженной хрущак в диапазоне 700-1000 Гр и мощности дозы 500 Гр/час, в результате чего как при первом учете зараженности через 15 сут, так при втором учете через 30 сут после облучения наблюдали 100% гибель жука хрущака (эффективность облучения – 100%) (таблица 5).

Таблица 5. Влияние гамма-облучения на зараженность крупы манной хрушаком

Доза облучения, Гр	Виды вредителей	Средняя плотность заражения до облучения, экз/кг	Средняя плотность зараженности после облучения, экз./кг	
			через 15 сут.	через 30 сут
0 (К)	Хрушак	60	20	20
700	(жук)	40	0	0
800		60	0	0
900		20	0	0
1000		20	0	0

Снижение плотности загрязнения в варианте без облучения (контроль) произошло из-за естественной гибели вредителя в связи с возрастом, но наличие в зерне даже 20 жуков способно привести к повторному заражению зернопродуктов, тогда как в вариантах с облучением такое развитие невозможно из-за полного уничтожения жука.

При этом облучение зерна и зернопродуктов существенно не влияло на их химический состав.

Таким образом, показано, что эффективность радиационной дезинсекции зерна и зернопродуктов зависит как от дозы облучения, так и от мощности дозы: полная гибель насекомых-вредителей наступает при дозе выше 200 Гр (при мощности дозы 500 Гр/ч) и выше 600 Гр (при мощности дозы 100 Гр/ч).

Литература

1. Передельский А.А. и др. Тр. Всесоюзной научно-технической конференции по применению радиоактивных и стабильных изотопов в народном хозяйстве и науке. - М., Изд-во АН СССР, 1958. С. 230.
2. Климкина А.Я. Половая стерилизация свекловичной мухи. / Биологический метод борьбы с вредителями растений. - Рига. 1968. С. 247-282.
3. Кудряшов Ю.Б. / Практикум по общей биофизике. - М.: Высшая школа, 1962. Вып. 7. С. 61.
4. Зерно. Методы определения зараженности и повреждения вредителями. ГОСТ 13586.4-83. - М.: Стандартиформ, 1983.
5. Мука и отруби. Метод определения зараженности и загрязненности вредителями хлебных запасов. ГОСТ 27559-87. - М.: Стандартиформ, 2007.
6. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. академика РАСХН В.Г. Минеева. - М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 24-28.

РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОКОМПЛЕКСЕ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Молин А.А.,¹ Будник С.В.²

¹ООО «Центр «Атоммед», 115230, Москва, Варшавское шоссе, 46
aamoln@atommedcenter.ru

²ООО «Теклеор», 141700, Россия, Московская обл., г. Долгопрудный,
ул. Циолковского, д.2/27, sbudnik@tecleor.com

Основу радиационных технологий (РТ) составляет обработка ионизирующим излучением с целью улучшения или придания новых свойств продукции. Рассмотрены основные направления использования РТ в агрокомплексе в логистике цепочки создания сельскохозяйственной продукции по схеме «от поля до тарелки» по следующим направлениям:

- направления, возможности и селективность предпосевной обработки семян с целью улучшения всхожести, устойчивости к негативным факторам прорастания, в том числе сохранности семян при хранении в предпосевной период;

- фитосанитарная обработка сельскохозяйственной продукции и сырья, поставляемых по импорту в Россию, или, наоборот, экспортируемых из России в соответствии со стандартами и рекомендациями Международной конвенции по карантину и защите растений;

- консервирование ионизирующим излучением пищевой продукции агрокомплекса, в т.ч. *радисидация* – обработка пищевых продуктов дозами 3-5 кГр, позволяющая освободить пищевой продукт от некоторых неспорообразующих патогенных микроорганизмов, а также уничтожить паразитов; *радуризация* – обработка пищевых продуктов дозами порядка 5-8 кГр, обеспечивающая снижение микробной обсемененности продукта до уровня, предотвращающего порчу продукта и позволяющего удлинить срок его хранения без признаков порчи; *радаппертизация* – обработка пищевых продуктов дозами порядка 10-15 кГр, обеспечивающая снижение микробного обсеменения до уровня полной необнаруживаемости или выявления небольших количеств микроорганизмов, не влияющих на устойчивость продукта в хранении;

- обработка отходов сельскохозяйственного производства для снижения доли перерабатываемого сырья (лигнина) с последующей переработкой в полезные продукты.

Литература

1. Международный стандарт по фитосанитарным мерам № 18 (2003). Руководство по использованию облучения в качестве фитосанитарной меры.

ЦЕНТР РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИФХЭ РАН: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Павлов Ю.С., Ершов Б.Г., Казякин А.А., Шинкарев В.М.

*ФГБУН Институт физической химии и электрохимии
им. А.Н. Фрумкина РАН, 119071, Москва, Ленинский просп. 31, корп. 4,
rad05@bk.ru*

На радиационно-технологических установках с ускорителями УЭЛВ-10-15-С-70-1 и УЭЛВ-10-10-Т-1 с перестройкой энергии $6\div 10$ МэВ, мощности в пучке $10\div 15$ кВт проводится широкий спектр научно-исследовательских и прикладных работ по разработке электронно-лучевых промышленных технологий [1-5]. Особое внимание уделяется коммерциализации результатов радиационно-технологических исследований в различных областях знаний. Созданный комплекс радиационно-технологических установок оказывает услуги 40 предприятиям России по использованию электронно-лучевых технологий, связанных с применением современной радиационной базы. Разработаны оригинальные методы диагностики ионизирующих излучений, измерения энергии, тока, плотности потока и флюенса электронов, количественного контроля доз облучения (рисунок 1).

В процессе облучения продукции осуществляется непрерывный компьютерный контроль валидированных режимов работы радиационно-технологических установок (энергия и ток пучка, длительность импульса, частоты посылок, частота и ширина развертки пучка, равномерность пучка по ширине развертки, скорость конвейера). Поглощенная доза в продукции измеряется с помощью пленочных детекторов по всему объему продукции (упаковка, контейнер, коробка, рулон) для конкретного режима работы установки. Для равномерного облучения продукции на конвейере разработана компьютеризированная развертка пучка с полосой сканирования пучка 70 см на расстоянии 5 см от фланца выпускного окна при неравномерности плотности тока по длине развертки не более 7% и с частотой следования сканирующих импульсов $1\div 6$ Гц. Радиационно-технологические установки обслуживаются квалифицированным, опытным персоналом, проходят своевременное сервисное обслуживание.

Ускорители центра имеют среднюю наработку на отказ 600 часов при коэффициенте технического использования более 0,94. Фактическая долговечность магнетронов, тиратронов, катодных узлов, применяемых на радиационно-технологических установках, составляет более 7500 часов.

Центр радиационных технологий оказывает услуги в создании новых модифицированных продуктов в 2016 г.: по радиационной модификации свойств изделий из пластмасс; улучшению временных

характеристик полупроводниковых приборов под действием ионизирующих излучений; радиационной стерилизации изделий медицинского назначения; радиационной деконтаминации пищевых продуктов и биологически активных добавок к пище; радиационная модификация физико-химических свойств кристаллов, минералов, драгоценных камней, нанопорошков и по другим перспективным технологиям.



Рисунок 1. Ускоритель с энергией электронов 10 МэВ и мощностью в пучке 15 кВт.

В 2014-16 гг. в центре радиационных технологий были реализованы более 20 радиационно-технологических процессов:

Радиационно-биологические: стерилизация изделий медицинского назначения; радиационная обработка лекарственного сырья; радисидация, радуризация, радаппертизация пищевых, сельскохозяйственных продуктов, биологически активных добавок к пище; предпосевное облучение и радиационная селекция семян; радиационная "сшивка" биологически активного вещества с полимерным носителем для производства лекарств; электронно-лучевая технология производства гелей для использования в медицине и биотехнологии [6-12].

Реализована радиационная стерилизация и деконтаминация изделий промышленности: медицинские изделия однократного применения (шприцы, бинты, катетеры и т.д.); лекарственные средства (иммуноглобулин, альгипор, гидроксиапатит и т.д.); лекарственное сырье (эхинацея, имбирь, валерьяна и т.д.); пищевое сырье (хитозан, коллагин, сычужные ферменты и т.д.); пищевые добавки (фиточай, модифилан, бальзамы, биологически активные добавки и т.д.); пищевые продукты (элитные семена зерновых, круп и картофеля, сухофрукты, ягоды и т.д.); пастеризация пищевых полуфабрикатов; радиационная деструкция целлюлозы для пищевой промышленности; радиационная стерилизация и консервация тканей для ортопедической и пластической хирургии; обработка упаковочных материалов для медицины, фармацевтической и косметической и пищевой промышленности (флаконы, пакеты, упаковки, контейнеры и т.д.)

Применение радиационных технологий в сельском хозяйстве: - предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур для повышения урожайности; - радиационная дезинсекция зерновых культур, круп, бобовых для уничтожения паразитов, вредителей и их личинок; - обработка корнеплодов с целью предотвращения преждевременного прорастания; Сущность методики заключается в том, что для обработки продуктов питания используют ионизирующие излучения такой малой энергии, которая не вызывает остаточной наведенной радиоактивности. Но при этом уничтожаются вредоносные микроорганизмы, ускоряющие порчу продуктов. Деконтаминация специй, сушеных овощей, трав, кофе и т.п. Обработка с целью продления срока годности свежесобранных плодов, ягод и фруктов. Радиационная дезинсекция зерновых культур, круп, бобовых, уничтожение паразитов, вредителей и их личинок. Обработка с целью предотвращения прорастания корнеплодов, чеснока, лука, и т.п. Отсутствие наведенной радиоактивности обеспечивается ограничением энергий электронов до 10 МэВ. Исследовались методы радиационной обработки продукции в виде: радаппертизации (дозы 10÷50кГр) до полной стерильности продукта; радисидации (дозы 4÷6 кГр) для выборочного подавления микроорганизмов определенного типа с целью продления времени хранения продукта; радуризации в виде обработки пищевых продуктов до ограниченного подавления микрофлоры в фиксированных дозах до 10 кГр, достаточных для гибели патогенных микроорганизмов.

На установках центра предоставляются услуги по радиационной стерилизации - наиболее перспективному способу стерилизации медицинских изделий и материалов. В отличие от термического и газового методов радиационная стерилизация обладает уникальными параметрами: достигается сверхвысокая степень стерильности; стерилизация проводится непосредственно в упаковке, что гарантирует сохранение достигнутой степени стерильности; стерилизация проходит без повышения температуры, т. е. возможность стерилизации термолабильных препаратов и материалов; полное отсутствие каких-либо следов радиоактивности и газов в обработанных изделиях и, следовательно, гарантированная безопасность изделий при хранении и применении; возможность организации непрерывной, поточной, автоматизированной обработки медицинских изделий с выдачей готовой продукции после облучения в товарном виде в минимальные сроки. Метод радиационной деконтаминации позволяет снизить до допустимого уровня количество микроорганизмов, а также уничтожить грибки и дрожжи, присутствующие в исходном лекарственном сырье для фармацевтической промышленности. Достоинством метода радиационной деконтаминации является его экологическая безупречность.

Радиационно-химические: радиационное модифицирование полимеров, труб, изоляции проводов и кабелей; вулканизация резинотехнических изделий, производство искусственных кож и стеклопластиков; отверждение лакокрасочных покрытий; радиационное отверждение бетонополимерных материалов; радиационно-химический синтез стабильных наноагрегатов и получение на их основе композитных материалов с наноразмерной структурой x [13-17].

Разработаны методики и регламенты радиационно-химических технологий: модифицирование полимеров методом радиационно-прививочной полимеризации.; радиационнополимеризованные пленки для аккумуляторов; изготовления полимерной изоляции тонких проводов и полимерных пластиковых труб; изготовление термоусаживаемых труб и лент; термоусаживаемые трубы для нефтегазовой и радиоэлектронной промышленности; радиационная обработка кристаллизирующихся полимеров; радиационная "сшивка" труб для жилищно-коммунального хозяйства; радиационная технология производства морозостойких, длинномерных уплотнителей для оконных блоков; радиационный метод изготовления пористых неформовых изделий разной плотности из резин на основе углеродистых каучуков;

Проводится отработка радиационно-химических технологий: радиационное модифицирование физико-механических свойств полиолефиновых композиций; радиационная модификация различных синтетических материалов: отверждение лакокрасочных покрытий; изготовление утолщенных и вспененных пленок; радиационная модификация листовых пленочных и резинотканевых изделий. Получение радиационных деструктатов резин; непрерывная вулканизация для производства искусственных кож и резинотехнических изделий; производство древесно-стружечных изделий и стеклопластиков; радиационно-химическая деструкция резин на основе бутылкаучука.

Радиационно-физические: радиационная модификация параметров полупроводниковых приборов (диодов, транзисторов, тиристоров); модификация физико-химических свойств кристаллов, драгоценных камней, нанопорошков; поверхностное упрочнение, полировка, легирование металлов, сплавов, керамики; повышение износостойкости, коррозионной стойкости, динамической прочности изделий при электронно-лучевой обработке [18-21].

Реализована технология прецизионного регулирования характеристик кремниевых высоковольтных тиристоров (Т273-1250-44; Т643-320-65; Т353-800-35) посредством разбиения партий полупроводниковых элементов на группы и контроля времени обратного восстановления на диодах-спутниках в процессе облучения, позволяющие в массовых партиях снизить разброс импульсного

напряжения в открытом состоянии УТМ до величин не более $\pm 0,05$ В при разбросе заряда обратного восстановления QRR не более 5%.

Реализованы радиационно-технологические процессы модификации статических и динамических характеристик кремниевых биполярных приборов различных классов на различные рабочие токи (от единиц мА до десятков кА) и напряжения (от единиц В до 8 кВ): силовые диоды и тиристоры, СВЧ биполярные и БТИЗ-транзисторы, импульсные диоды, прецизионные стабилитроны (всего более 50 типоминалов), выпускаемые различными отечественными предприятиями. Модификация обусловлена формированием в приборных структурах электрически активных и стабильных в области рабочих температур субнаноразмерных центров рекомбинации. Технологии осуществляются на воздухе с высокой производительностью и управляемостью, являются альтернативными термодиффузионному легированию (Au, Pt) и обработке легкими ионами.

Электронно-лучевая обработка при флюенсах до 10^{18} эл/см² различных камней, включая топаз, нефрит, жадеит, скаполит, агат, турмалин, кварц, берилл, циркон, алмаз. Совершенно черным нефрит становится при флюенсе $2 \cdot 10^{17}$ эл/см². Причем процесс почернения происходит монотонно и стабильно, практически не меняется от образца к образцу. На процесс модификации нефрита не сказывается ни сорт камней, ни месторождение, из которого он взят. Окраска топаза в голубой цвет достигается при флюенсе $1,2 \cdot 10^{16}$ эл/см², причем густота интенсивности окраски зависит от конкретной величины дозы, технологии облучения и состава примесей. Электронно-лучевая обработка технических, импактных алмазов при флюенсе $5 \cdot 10^{16}$ эл/см² с последующим отжигом приводит к повышению прочности алмазов. Специальный режим отжига алмазов проводился при температуре эквивалентной вжиганию алмазов в буровой инструмент.

При работе осуществляется непрерывный контроль режимов работы установки (скорости конвейера, длительности импульсов, частоты посылок, тока пучка монитора-коллектора электронов, частоты развертки пучка электронов, ширину развертки пучка электронов). Поглощенная доза определяется с помощью пленочных детекторов по всему объему изделия (упаковки, коробки) с продукцией для конкретного режима работы установки.

Промышленные радиационно-технологические установки с ускорителями электронов делают производство инновационным в области радиационно-биологических, -физических, -химических технологий. В процессе радиационной обработки появляются продукты с новыми свойствами, не достижимыми другими методами. Внедрение радиационных технологий в промышленность реализует инновационные применения при очевидной коммерческой окупаемости.

Литература

1. Павлов Ю.С., Ершов Б.Г., Доброхотов В.В., Павлов В.А. Материалы V Всероссийской конференции "Актуальные проблемы химии высоких энергий" (г. Москва, 23-24 октября 2012 г.). М.: РХТУ. 2012. С. 80-82.
2. Павлов Ю.С., Ершов Б.Г., Фоменко Ю.Л., Поляков А.А. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Техническая физика и автоматизация, вып. 67 (часть 1). М.: ОАО "НИИТФА", 2013, с. 27-41.
3. Павлов Ю.С. Труды XXIV Международной конференции «Радиационная физика твёрдого тела» (г. Севастополь, 7-12 июля 2014г.). М.: ФГБНУ «НИИ ПМТ». 2014. С. 22-33.
4. Доброхотов В.В., Павлов В.А., Павлов Ю.С. Научная сессия НИЯУ МИФИ-2014. Аннотации докладов. Том 2. М.: НИЯУ МИФИ. 2014. С. 139.
5. Pavlov Yu.S., Dobrohotov V.B., Pavlov V.A., Nepomnyaschy O.N., Danilichev V.A. Proceedings of XXIV Russian Particle Accelerators Conference (RuPAC'2014). October 6-10, 2014, Obninsk, Russia, p. 259-261.
6. Gracheva A.Yu., Zaviyalov M.A., Kondratenko V.V., Filippovich V.P., Pavlov Yu.S., Prokopenko A.V. Proceedings of XXIV Russian Particle Accelerators Conference (RuPAC'2014). October 6-10, 2014, Obninsk, Russia, p. 470-472.
7. Быковченко Т.В., Волкова О.В., Завьялов М.А., Павлов Ю.С., Филиппович В.П., Прокопенко А.В. Научная сессия НИЯУ МИФИ-2014. Аннотации докладов. Том 1. М.: НИЯУ МИФИ. 2014. С. 104.
8. Грачева А.Ю., Завьялов М.А., Павлов Ю.С., Филиппович В.П., Прокопенко А.В. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Техническая физика и автоматизация, вып. 71. М.: АО "НИИТФА". 2015. С. 73-79.
9. Быковченко Т.В., Волкова О.В., Завьялов М.А., Филиппович В.П., Кухто В.А., Павлов Ю.С., Прокопенко А.В. Хранение и переработка сельхозсырья, № 12, 2014. С. 45-49.
10. Грачева А.Ю., Завьялов М.А., Павлов Ю.С., Филиппович В.П., Прокопенко А.В. Научная сессия НИЯУ МИФИ-2015. Аннотации докладов. Том 2. М.: НИЯУ МИФИ. 2015. С. 48.
11. Ponomarev A.V., Metreveli P.K., Metreveli A.K., Bludenko A.V., Chulkov V.N., Pavlov Yu.S. Elektrotehnika & Elektronika. 2014. Vol. 49. No 5-6. P. 150-156.
12. Kholodkova E.M., Pavlov Y.S., Ponomarev A.V., Ovchinnikov V.P., Svinin M.P., Tolstun N.G. Proceedings of 20th International Workshop on Beam Dynamics and Optimization (BDO), Combined Conferences IVESC-ICEE-ICSTPEA-BDO'2014, WBDO-7, Saint-Petersburg, Russia, June 30 - July 4 2014. 2014. С. 82.
13. Павлов Ю.С., Ревина А.А., Кузнецов М.А., Суворова О.В., Сурма А.М., Лагов П.Б. Быковченко Т.В., Завьялов М.А., Филиппович В.П., Доброхотов В.В., Павлов В.А., Непомнящий О.Н. Материалы VI Всероссийской конференции "Актуальные проблемы химии высоких энергий" (Москва, 20-22 октября 2015 года). М., Изд-во Граница". 2015.
14. Ревина А.А., Павлов Ю.С., Суворова О.В. Материалы XII международной конференции "Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования" Ялта, 6-10 июня 2016 г. М.: РУДН. 2016. С. 490-493.
15. Павлов Ю.С., Суворова О.В., Кузнецов М.А., Ревина А.А. Нанотехнологии: наука и производство, 2016, № 1, С. 3-19.

16. Ревина А.А., Павлов Ю.С. В кн: Труды XXV Международной конференции «Радиационная физика твёрдого тела» (Севастополь, Россия, 6 июля - 11 июля 2015 г.). М.: Изд-во ФГБНУ «НИИ ПМТ». 2015. С. 406-414.
17. Ревина А.А., Павлов Ю.С. Материалы научно-практической конференции "Образование и наука для устойчивого развития" 19-21 апреля 2016 г. Часть 2. М.: РХТУ. 2016. С. 13-16.
18. Павлов Ю.С., Сурма А.М., Лагов П.Б., Фоменко Ю.Л., Гейфман Е.М. Сборник научных трудов II международной конференции "Плазменные, лазерные исследования и технологии", 25-27 января 2016 г. М.: НИЯУ «МИФИ». С. 181.
19. Павлов Ю.С., Лагов П.Б. Труды XXVI Международной конференции "Радиационная физика твёрдого тела" (Севастополь, 04 июля – 09 июля 2016 г.). М.: Изд-во ФГБНУ «НИИ ПМТ». 2016. С. 267-270.
20. Pavlov Y.S., Lagov P.B. Proceedings of 15th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS). 2015. Produced by IEEE eXpress Conference Publishing. P. 336–338.
21. Павлов Ю.С., Лагов П.Б. Труды XXV Международной конференции «Радиационная физика твёрдого тела» (Севастополь, 6 июля - 11 июля 2015 г.). М.: ФГБНУ «НИИ ПМТ». 2015. С. 398-405.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ГАММА-УСТАНОВКЕ ГУР-120

**Павлов А.Н., Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Пименов Е.П.,
Микаилова Р.А.**

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», 249032, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, 49434@mail.ru

При радиационной обработке сельскохозяйственного сырья и готовой продукции необходимо решение вопросов, связанных с методологией оптимизации радиационных технологических процессов на основе изучения радиобиологических показателей эффективности радиационной обработки в зависимости от исходных микробиологических показателей, дозиметрических характеристик ионизирующих излучений (доза, мощность дозы, распределение поглощенной дозы в облучаемой продукции) и свойств биологической среды продукции.

Цель настоящей работы состояла в определении оптимальных радиобиологических показателей экспериментально-производственного процесса радиационной обработки, обеспечивающего микробиологическую безопасность и увеличение сроков хранения продукции растительного происхождения.

Для облучения специй и овощей была использована γ -установка ГУР-120, разработанная для радиобиологических исследований, включая радиационную стерилизацию сельскохозяйственной продукции.

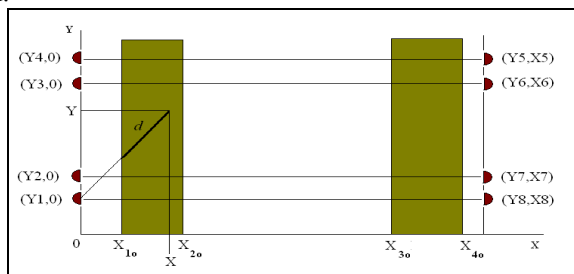


Рисунок 1. Геометрия облучения объектов в зале γ -установки ГУР-120

d – толщина среды от начала тканеэквивалентных барьеров до точки детектирования;
 $(X_{20}-X_{10})$, $(X_{40}-X_{30})$ – толщина тканеэквивалентных барьеров;

(Y1;0), (Y2;0), (Y3;0), (Y4;0),(Y5;X5),(Y6;X6), (Y7;X7), (Y8;X8) – координаты источников ионизирующего излучения (рисунок 1).

Инженерные расчёты мощности поглощённой дозы выполняли с использованием дозовой функции точечного изотропного источника γ -излучения:

$$P_{\gamma} = Q \cdot K_{\gamma} \cdot \exp(-\mu d) \cdot B(\mu d) / R^2,$$

где Q – активность источника, Бк;

K_{γ} – гамма-постоянная радионуклида ^{60}Co , (Гр·м²)/(с·Бк);

μ – коэффициент ослабления гамма-излучения в веществе объекта, м²/кг;

d – толщина среды от источника до точки детектирования, кг/м²;

$B(\mu d)$ – дозовый фактор накопления, отн. ед.;

R – расстояние от источника до точки детектирования, м.

Для расчетов были выбраны два значения плотности вещества 0,3 г/см³ и 0,7 г/см³, т.к. плотность молотого перца – 0,745 г/см³, плотность молотого кориандра – 0,569 г/см³, плотность резаного сушеного укропа – 0,35 г/см³. Из приведённых данных видно, что, когда плотность вещества в объекте равна 0,7 г/см³ P_{max} превышает P_{min} в 180 раз, а при $\rho=0,3$ г/см³ в 40 раз

Увеличение плотности вещества в 2 раза приводит к увеличению неравномерности в 4,5 раза. Ослабление излучения на одной из боковых сторон объекта может достигать порядка величины при толщине материала 1 м с плотностью 0,7 г/см³ (рисунок 2).

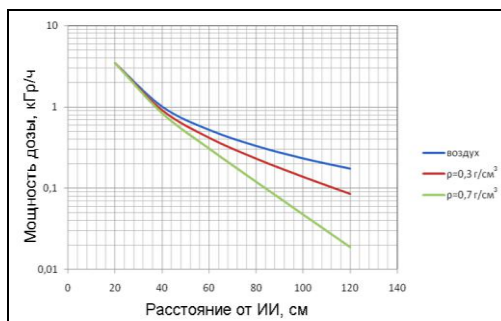


Рисунок 2. Распределение мощности дозы в воздухе и облучаемых объектах с $\rho=0,3$ г/см³ и $\rho=0,7$ г/см³

Неравномерность поля облучения (по соотношению $P_{\text{max}}/P_{\text{min}}$) можно существенно снизить за счет двухстороннего облучения путём поворота облучаемого объекта 180 градусов.

Данные по распределению мощностей доз облучения позволяют выявить размеры области равномерного облучения объекта. Для улучшения равномерности облучения может быть применён прием с

периодическим переворачиванием материала. Прямые измерения дозовых полей проводили с помощью дозиметров Фрике в диапазоне доз 20 – 400 Гр, термолюминесцентных детекторов (ТЛД) на основе порошкообразного фтористого лития марки ТЛД-100 в диапазоне доз 1 – 10 Гр, дозиметра конденсаторного типа ДКС-101 при мощности дозы до 200 Гр/ч, полимерных пленочных детекторов в диапазоне доз (1-50) кГр и цветowych индикаторов дозы в интервале от 1 до 20 кГр.

Используя разработанную технологию радиационной обработки сушеных пряностей и овощей на установке ГУР-120 проведено облучение высушенного сельскохозяйственного растительного сырья: специй (черный и красный перец; кориандр), трав (укроп, петрушка, базилик) овощей (капуста, лук, морковь, сладкий болгарский перец) и какао-порошка. Показатели плотности облучаемых продуктов находились в пределах отработанных нами значений (0,3–0,7 г/см³). Оценку параметров микробиологической безопасности осуществляли согласно СанПиН 2.3.2.1078-01, где КМАФАнМ не должно превышать значения 5·10⁵ КОЕ/г в см³, плесень и дрожжи, не более 10³ КОЕ/г в см³, наличие БГКП не допускаются.

Исследованы показатели радиочувствительности основных групп микроорганизмов, присутствующих в специях, сушеных травах сушеных и свежих овощах, в диапазоне доз облучения от 30 Гр до 10 кГр.

В специях исходное количество мезофильных аэробных и факультативных анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) варьировало от 0 до 10⁷ КОЕ/г. Установлено, что LD₅₀ КМАФАнМ равно 0.5 кГр. С увеличением дозы облучения количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) снижается (рисунок 3). Доза 10 кГр оказывается достаточной для того, чтобы обеспечить безопасный уровень численности этой группы микроорганизмов.

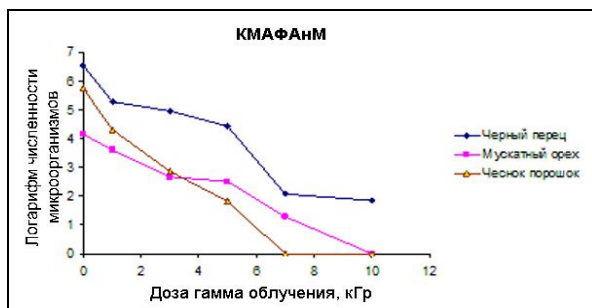


Рисунок 3. Влияние γ -облучения специй на количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов(КМАФАнМ).

Исходное количество дрожжей и плесневых грибов варьировало в пределах от 0 до 10^4 . Плесневые грибы в специях находятся в виде спор, что обуславливает их сравнительно высокую устойчивость к облучению. У дрожжей и плесневых грибов $LD_{50} \sim 0.5$ кГр, при дозе ~ 7 кГр наступила полная гибель данной группы микроорганизмов (рисунок 4).

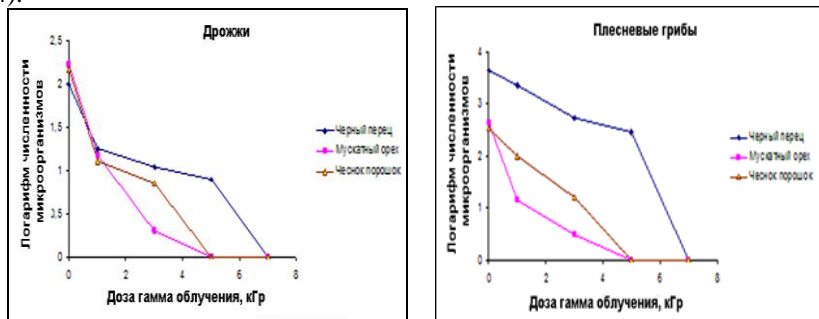


Рисунок 4. Влияние гамма-облучения специй на количество дрожжей и число плесневых грибов.

В образцах молотого кориандра и лукового порошка была обнаружена кишечная палочка (*Escherichia coli*). Количество бактерий кишечной палочки (*Escherichia coli*) составляло до 10^4 на грамм. В ходе облучения дозами от 30 Гр до 1 кГр, полная гибель бактерий *E. coli* в образце лукового порошка наступала при дозе 300 Гр, однако в молотом кориандре единичные клетки кишечной палочки сохраняли способность к размножению даже после облучения дозой 1 кГр (рисунок 5).

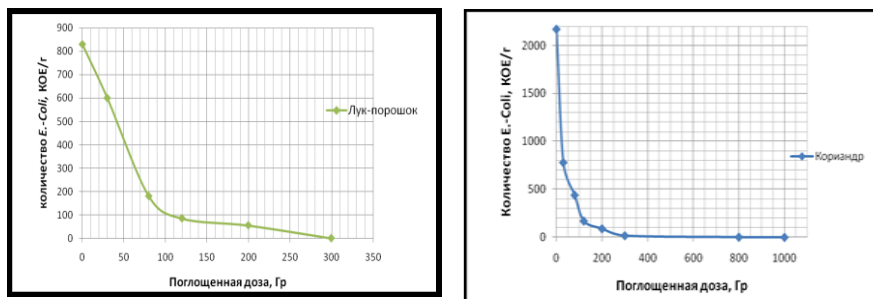


Рисунок 5. Влияние гамма-облучения специй на численность бактерий кишечной палочки (*Escherichia coli*)

Поглощенные дозы, вызывающие инактивацию 90% бактерий (D_{10}), полученные с использованием пробит анализа, составили 100 Гр для кориандра и 140 Гр для лукового порошка. Следует отметить, что аналогичные показатели инактивации *E. Coli* in vitro при облучении

бактерий в суспензии (D_{10}) составили от 50 до 80 Гр в зависимости от мощности дозы [1]. Полученные результаты подтверждают данные [2] о влиянии на показатели инактивации бактерий антиоксидантных свойств специй.

Таким образом, радиобиологические показатели эффективности γ -обработки зависят от радиочувствительности основных групп микроорганизмов, присутствующих в специях, сушеных травах сушеных и свежих овощах (а также от исходной радиобиологической обсемененности) и дозиметрических характеристик ионизирующих излучений (доза, мощность дозы, распределение поглощенной дозы в облучаемой продукции). Колиформные бактерии (БГКП) устранялись полностью, в то время как сохранялось некоторое число выживших спорообразующих бактерий и плесневых грибов, в основном соответствующее нормативам.

Применение методов ионизационной, термолюминесцентной и химической дозиметрии, а также инженерных методов расчета позволяет получить детальное распределение поглощенной дозы в облучаемых биологических объектах и использовать дозиметрические величины для анализа радиобиологических эффектов.

Результаты изучения радиационной устойчивости микроорганизмов, обнаруженных в облучаемом сырье, свидетельствуют о том, что поглощенная доза в 10 кГр позволяет снизить КМАФАНМ до необходимых уровней безопасности. Остальные группы микроорганизмов, исследованные нами, при этой поглощенной дозе обнаружены не были.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что разработанная технология обработки сельскохозяйственного растительного сырья, облучаемого изотопными источниками с малыми (по сравнению с промышленными установками) мощностями доз, оказалась оптимальной, но при высокой исходной обсемененности продукции из-за неполного уничтожения микроорганизмов принятые нормативы качества могут быть не достигнуты и необходимо увеличивать поглощенную дозу.

В процессе экспериментально-производственной апробации радиационной технологии было отобрано ~ 1170 образцов различных видов сельскохозяйственной продукции, поставляемой на продовольственный рынок РФ из Китая, Индии, Египта и Румынии. ~ 95% исследованных проб показали превышения принятых нормативов качества. Недопустимые уровни КМАФАНМ обнаружены в 1017, дрожжей и плесени в 1106 и БГКП в 82 образцах. В результате радиационной обработки, по разработанной в данном исследовании технологии, практически у 100% обработанного сырья радиобиологические показатели стали соответствовать установленным нормативам РФ и ТС. Таким образом, показана возможность

вовлечения в технологический процесс облучения продуктов питания, исследовательских установок небольшой мощности.

Литература

1. Козьмин Г.В., Павлов А.Н., Епимахов В.Г. Экстракты специй как факторы, модифицирующие эффекты радиационной иннактивации микроорганизмов гамма-излучением // Техногенные системы и экологический риск: Тезисы докладов XIII Региональной научной конференции / Под общей редакцией А.А. Удаловой. -Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ 2016-стр 153-155
2. Sharma A., Gautam S., Jadhav S.S. Spice extracts as dose-modifying factors in radiation inactivation of bacteria // J. Agric. Food Chem. 2000. 48(4). P. 1340-1344.

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ, ОБСЕМНЯЮЩИХ СПЕЦИИ

Пименов Е.П., Морозова А.И., Васильева Н.А., Павлов А.Н.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», 249032, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, pimenover1@rambler.ru

В современных технологических процессах для обеззараживания сельскохозяйственной и пищевой продукции, как правило, применяют химическую обработку, использование которой сопряжено с негативными побочными явлениями (отрицательное влияние на здоровье людей, загрязнение вредными веществами, сложность хранения токсических препаратов, высокая стоимость обработки) [1].

Это вызывает необходимость внедрения более эффективных и экологически безопасных технологий, среди которых перспективными являются агробиотехнологии на основе применения ионизирующих излучений [2].

Основы применения радиационных технологий (РТ) в агропромышленном производстве были заложены в 50-80-е гг. прошлого века, в результате проведения многоплановых радиобиологических исследований. Основное внимание разработок тех лет было связано с созданием РТ по стерилизации продуктов питания [3].

Целью настоящего исследования была оценка резистентности микроорганизмов, обсеменяющих специи (молотый черный перец, молотый мускатный орех, молотый кориандр, порошок лука и чесночный порошок) к ионизирующему излучению.

Изучали зависимость устойчивости разных групп микроорганизмов к облучению в диапазоне от 30 Гр до 10 кГр. Источником гамма-излучения служила установка ГУР-120, состоящая из восьми блоков-облучателей, четыре напротив четырёх, заряженных источниками ГИК-4-7, общей активностью ^{60}Co $4,46 \cdot 10^{15}$ Бк. Диапазон мощностей доз при облучении специй был в пределах 200 - 350 Гр/ч.

Учитывали изменение численности санитарно-показательных микроорганизмов [4]: количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), колиформных бактерий, плесневых грибов и дрожжей. КМАФАнМ учитывали после выращивания при 30-37°C в течение 48-72 часов на мясопептонном агаре (МПА); численность бактерий группы кишечной палочки (БГКП), выращенных при той же температуре в течение 48 часов, определяли на среде Эндо; число плесневых грибов и дрожжей подсчитывали после инкубации в течение 72 часов при 28°C на среде Сабуро.

Исходное количество мезофильных аэробных и факультативных анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в продуктах варьировало от 10^4 до 10^7 колониеобразующих единиц на грамм (КОЕ/г); бактерий группы кишечной палочки (БГКП) - от 10^2 до 10^5 ; дрожжей и плесневых грибов - от 10^2 до 10^5 КОЕ/г. В составе мезофильных аэробных и факультативных анаэробных микроорганизмов преобладали спорообразующие бактерии *Vacillus subtilis* (в черном перце и мускатном орехе) и *Vacillus cereus* (в чесночном порошке). Во всех изученных видах пряностей присутствовали плесневые грибы родов *Penicillium* и *Aspergillus* и дрожжи рода *Rhodotorula*.

Бактерии кишечной палочки (*Escherichia coli*) были обнаружены в образцах кориандра и лукового порошка.

Эти граммотрицательные бактерии оказались наиболее чувствительными к гамма-облучению. Снижение их численности в 10 раз (D_{10}) отмечено при дозе 100 Гр для кориандра и 140 Гр для лукового порошка (таблица).



Рисунок. Исходная обсемененность продуктов микроорганизмами. Численность микроорганизмов выражена в логарифмах колониеобразующих единиц в 1 грамме специй (Log KOE/г)

Как и следовало ожидать, бактериальные споры оказались более устойчивыми к действию ионизирующей радиации (показатель D_{10} для разных видов специй варьировал в пределах 5-7 кГр), чем вегетативные клетки (D_{10} колебался от 1 до 4 кГр). Облучение также снижало численность плесневых грибов (D_{10} составил 6 кГр для черного перца и от 1 до 3 кГр для остальных специй).

Полная стерилизация микроорганизмов отмечена в дозах: 2 кГр для БГКП, 7 кГр для плесневых грибов и 10 кГр для бактериальных спор.

Эффективность радиационной обработки высушенных молотых специй (черного перца, мускатного ореха, кориандра, лука и чеснока)

при облучении в дозе 5 кГр для подавления содержания плесневых грибов и дрожжей составляла от 80 до 100%. Аналогичный результат получен и при подавлении жизнеспособности спорообразующих бактерий облучением в дозе 10 кГр.

Таблица. Значения D_{10} для микроорганизмов, обсеменяющих специи, кГр

Виды специй	КМАФАнМ	E. coli	Плесень и дрожжи
Черный перец	7	-	6
Мускатный орех	6	-	2
Кориандр	5	0,1	1
Луковый порошок	5	0,14	2
Чесночный порошок	5	-	3

D_{10} – доза (кГр), при которой гибнет 90% популяции

Дозы облучения, приводившие к гибели исследованных микроорганизмов, не превышали доз, рекомендованных международным стандартом [5].

Таким образом, в результате исследования установлено, что устойчивость микроорганизмов к ионизирующему излучению зависела от дозы воздействия, количества и видового состава микроорганизмов, обсеменяющих специи, а также от вида облучаемого продукта.

Литература

1. Chmielewski A.G., Migdał W. Radiation decontamination of herbs and spices // Nukleonika. 2005. 50(4): 179–184.
2. Алексахин Р.М. Перспективы использования радиационных технологий в агропромышленном комплексе Российской Федерации / Р.М. Алексахин, Н.И. Санжарова, Г.В. Козьмин, С.А. Гераськин, А.Н. Павлов // Вестник РАЕН. 2014. №1. С. 78-85.
3. Кузин А.М., Каушанский Д.А. Прикладная радиобиология. М.: Энергоиздат, 1981. 221 с.
4. Лабинская А.С. Микробиология с техникой микробиологических исследований – М.: Медицина. 1978. — 394 с.
5. ASTM-F-1885-04. Standard Guide for Irradiation of Dried Spices, Herbs, and Vegetable Seasonings to Control Pathogens and Other Microorganisms / American Society for Testing and Materials. Philadelphia. 2004. Reapproved 2010. 5 p.

УВЕЛИЧЕНИЕ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ БЕЛОГО ВИНОГРАДА ПРИ ЕГО ОБЛУЧЕНИИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫМИ ПОТОКАМИ УФ ИЗЛУЧЕНИЕМ СПЛОШНОГО СПЕКТРА

Поликарпов Н.А., Шашковский С.Г.¹, Ершов Б.Г.²

¹ООО «НПП «Мелитта», 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.16/10
²ФГБУН Институт физической химии и электрохимии
им. А.Н. Фрумкина РАН, 117342, Москва, ул. Обручева, 40,
ershov@ipc.rssi.ru

Внедрение экологически чистых технологий хранения быстропортящихся продуктов является актуальной задачей пищевой промышленности.

Целью данной работы являлось исследование возможности увеличения сроков хранения винограда в гроздях, облученного высокоинтенсивным излучением сплошного спектра импульсной ксеноновой лампы.

Исследования проводились на базе Института медико-биологических проблем РАН в 2 этапа. Исследование активности импульсного УФ излучения в отношении грибов рода *Botrytis* и определение энергетических доз инактивации и обработка виноградных гроздей потоками импульсного УФ излучения и определение сроков их сохранности при различных режимах хранения.

Оборудование и схема эксперимента

Облучение тест-объектов осуществлялось с помощью импульсной ксеноновой лампы U-образной формы с длиной излучающего канала 2х150 мм, заключенной в кварцевый чехол диаметром 50 мм. Питание лампы осуществлялось с помощью источника питания установки УИКБ-01-«Альфа». Лампа вырабатывала световые импульсы, следующие с частотой 2,5 Гц. Средняя электрическая мощность ксеноновой лампы составляла 1000 Вт. Время экспозиции тест-объектов задавалось на пульте установки. Грозди винограда и чашки Петри, загрязненные культурой грибов, размещались в алюминиевом поддоне на расстоянии 400 мм от центра лампы. Грозди винограда облучались в двух противоположных сторон с одинаковой экспозицией. Размеры поддона составляли 200х200 мм, боковые стенки шириной 150 мм образовывали угол 135° с дном. Неоднородность облучения рабочей поверхности поддона не превышала 6% за счет удаления лампы на расстояние 40 см.

Методика проведения экспериментов

В экспериментах *in vitro* питательную среду картофельного агара (dextrose agar) в стерильной чашке Петри каплей объемом 10 мкл,

контаминировали спорами гриба вида *Botrytis cinerea* в количестве 10^5 , 10^6 и 10^7 спор. Далее капля подсушивалась. Посев и облучение контаминированных чашек проводилось с расстояния 400 мм в стерильном боксе. Время экспозиции составляло 10, 30, 60, 120, 180 и 500 секунд. Каждый опыт проводился в трех повторностях.

Облученные и контрольные (не облученные) чашки Петри выдерживались при температуре 20-25°C до 15 дней и контролировались ежедневно через 3 суток после проведения опыта. Режимы облучения, при которых после 15 суток не наблюдалось роста грибов (100% эффективность), рекомендовались для проведения дальнейших исследований.

В экспериментах *in vivo* с гроздьями белого винограда была следующая последовательность действий:

1. В розничной сети был приобретен ящик белого винограда весом 15 кг. Срок хранения неизвестен. Из тары извлекалась одна гроздь винограда. Производился визуальный осмотр грозди. Удалялись гнилые ягоды.

2. Гроздь винограда располагалась на поддоне на расстоянии 40 см под импульсной ксеноновой лампой.

3. Облучение с экспозицией 30, 180 или 500 секунд проводилось двух противоположных сторон. (Гроздь один раз переворачивалась на 180° вдоль оси). Каждый режим обработки повторялся 3 раза.

4. Облученная гроздь ножницами разделялась на две одинаковые по размеру части и упаковывалась в специальные полиэтиленовые мешки с перфорацией, обеспечивающую требуемую влажность.

5. Один из этих двух мешков с виноградом помещался в холодильник при температуре 4°C, а другой в термостат при 25°C.

6. Контроль за сохранностью винограда, находящегося в термостате, проводился в течение 10 суток, а в холодильнике в течение 4 недель, после чего его переносили в термостат для ускорения процесса порчи.

Результаты исследований

Анализ исследований *in vitro* показывает, что:

- 30 секундная экспозиция обеспечивает подавление роста спор гриба вида *Botrytis cinerea* при низких концентрациях.

- 60 секундная экспозиция чашек Петри показала полное подавление прорастания и роста спор. Только, в одной из серий экспериментов при экспозициях 120 секунд при высоких концентрациях спор (10^7) наблюдалось их прорастание.

Полное подавление роста и развития спор гриба вида *Botrytis cinerea* на всех облученных чашках в диапазоне исходного заражения 10^3 - 10^7 спор наблюдалось 100% обеззараживание при экспозициях 180 секунд и более.

Для проведения исследований *in vivo* непосредственно на гроздях винограда были выбраны следующие режимы облучения:

Режим 180 секунд, при котором наблюдается 100% обеззараживание спор гриба при высоких значениях контаминации.

Режим 30 секунд, при котором наблюдается 100% обеззараживание спор гриба при низких значениях контаминации.

Режим 500 секунд - в данном случае обеспечивается трехкратная передозировка плодов винограда излучением и может наблюдаться деструктивное действие высокоинтенсивного излучения на поверхности ягоды, а также большие экспозиции позволят увеличить радиационные энергетические дозы на ягодах, находящихся в центре грозди винограда (в теневых зонах).

Обобщенные результаты визуального наблюдения и количественного учета числа ягод с признаками порчи представлены на рисунке 1. Наблюдения проводились ежедневно, без вскрытия пакетов в течение 33 суток.

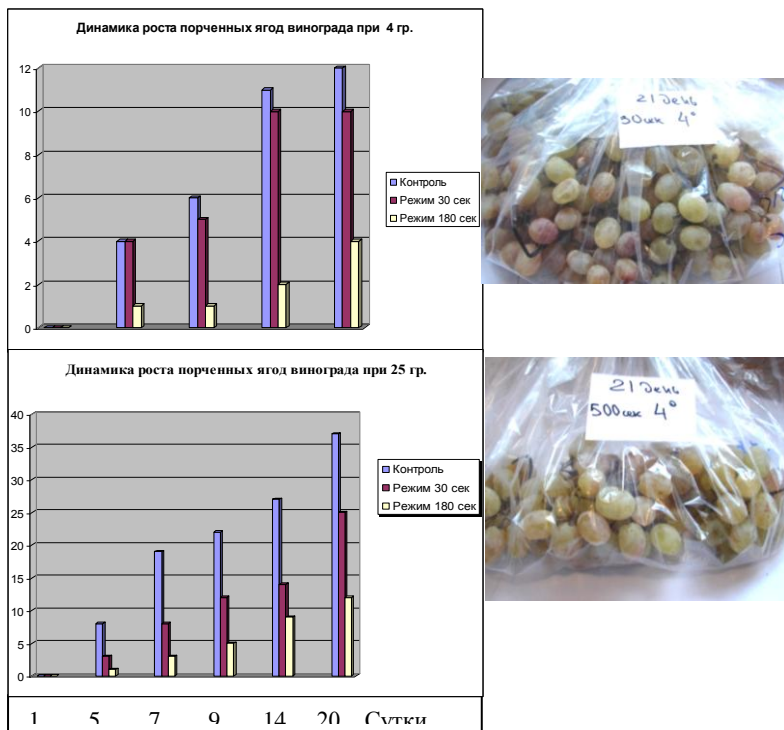


Рисунок 1. Динамика роста порчи ягод винограда при хранения при температурах 4 и 25 гр.С и их внешний вид после 21 дня хранения в холодильнике с 30 сек. (А) и 500 сек (Б) обработкой.

По сравнению с контролем после 180 секундного режима облучения число ягод с признаками порчи сократилось в 2.3 раза, после 30 секундного в 1.7 раз, после 500 секундного в 2.9 раз.

Результаты определения продолжительности хранения винограда после УФ-облучения показали, что наименьшее количество испорченных ягод к 21 суткам эксперимента наблюдалось при режиме хранения 4°C и времени облучения 180 секунд (4 ягоды с небольшими следами порчи) и 500 секунд (5 ягод с небольшими следами порчи). После 30 секундного облучения следы порчи обнаружены на 11 ягодах. В контрольном пакете с необлученным виноградом следы порчи обнаружены у 14 ягод.

На 33 сутки хранения винограда при 4°C эксперимент был прерван, пакеты с гроздьями винограда были вскрыты, произведена фотосъемка и общий учет результатов исследований.

Наименьшие потери при данном режиме хранения винограда наблюдались после 500 секундного обработки и составляли 11% от контрольных, не облученных ягод. После 180 секундного облучения число ягод с признаками порчи составляло 14%, а после 30 секундного – 19,2%.

Таким образом, по сравнению с контролем после 500 секундного УФ-облучения к 33 суткам эксперимента число ягод с признаками порчи сократилось в 3 раза, после 180 секундного в 2.3 раза, а после 30 секундного в 1.7 раза.

При хранении винограда при 25°C к 21 суткам эксперимента количество испорченных ягод распределялось следующим образом наименьшее число испорченных ягод отмечено при 180 секундном режиме УФ-облучения – 12 ягод (13%). На втором месте был 30 секундный режим облучения – 26 (21%) ягод. После 500 секундного облучения отмечены следы порчи на 30 ягодах (40%), а в контроле были испорченными 40 ягод (47%).

В связи с тем, что к 21 суткам эксперимента большинство ягод, находившихся при 25°C, потеряло товарный вид, и были с признаками порчи - дальнейшее их хранение в данных условиях было признано не целесообразным.

Результаты предварительных экспериментальных исследований по увеличению сроков хранения винограда при облучении их гроздей демонстрируют снижение количества испорченных ягод в 3 и более раз. Причем, эти результаты были получены на плодах винограда с неопределенным сроком хранения, а ягоды имели уже следы порчи. Очевидно, что это сокращает сроки хранения и эффективность действия высокоинтенсивного излучения, так как естественное прорастание мицелий уже могло достигнуть внутренних объемов ягод.

В работе экспериментально показана высокая эффективность (до 100%) высокоинтенсивного излучения сплошного спектра в отношении

спор гриба вида *Botrytis cinerea*. Определены пороговые энергетические дозы и режимы работы импульсной ксеноновой лампы.

Цикл экспериментов *in vivo* показал возможность увеличения сроков хранения плодов белого винограда при его облучении УФ излучением сплошного спектра в гроздях, что подтверждает перспективность и технологическую осуществимость данного метода.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Санжарова Н.И., Козьмин Г.В., Гераськин С.А.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», 249032, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, natsan2004@mail.ru

По данным международной Продовольственной и сельскохозяйственной организации ФАО ООН ежегодные глобальные потери продуктов питания достигают 30% в основном вследствие порчи при хранении и поражения насекомыми-вредителями. Основные причины потерь связаны с поражением зерновых культур насекомыми-вредителями и болезнями, преждевременным прорастанием клубне- и корнеплодов, бактериальной порчей овощей, фруктов, мяса, рыбы и других продуктов питания при складском хранении. В России только насекомые-вредители съедают около 8% выращенного зерна во время хранения. Для решения этой проблемы активно внедряются радиационные технологии с использованием гамма-излучения, электронного и тормозного рентгеновского излучения. Рост масштабов применения РТ в различных отраслях экономики позволяет рассматривать современный период их развития как технологический прорыв, во многом способствующий, в том числе и повышению уровня экологической и продовольственной безопасности.

Для промышленной реализации процессов радиационной обработки используют как гамма-установки, так и ускорители электронов. Количество стационарных и передвижных промышленных установок растет во всех странах мира, в настоящее время функционирует более 550 облучательских центров. 70% из них приходится на долю Китая и США. В 69 странах мира разрешена обработка более 80 видов пищевых продуктов. Общий годовой объем облучаемой продукции оценивается в 700-800 тыс. т, объем рынка составляет более 2,3 млрд. долл.

Российская Федерация остается одной из немногих развитых стран, в которых радиационные технологии в агропромышленном производстве практически не используются. Рынок услуг по облучению находится на начальном этапе формирования. Недостаточно развиты нормативно-правовая и техническая базы применения радиационных технологий. Очевидно явное отставание РФ в данном направлении. При этом наша страна является признанным мировым лидером по разработке и производству ускорителей и изотопных источников для различных отраслей промышленности.

Основные компетенции радиационных технологий агропромышленного профиля: облучение сельскохозяйственного сырья и готовой продукции для обеспечения микробиологической безопасности, снижения потерь при хранении и гарантии сроков хранения; облучение картофеля, лука, корне- и клубнеплодов для задержки процессов прорастания при хранении, а также свежих фруктов и овощей в целях ингибирования созревания; борьба с насекомыми-вредителями после сбора урожая (карантинная мера), а также дезинсекция зерна, зернопродуктов и сухофруктов; радиационная обработка посевного материала в целях стимуляции семян, развития растений и повышения урожая сельскохозяйственных культур.

Научным фундаментом применения радиационных технологий в сельского хозяйства и пищевой промышленности являются междисциплинарные исследования, включающие: изучение действия ИИ на возбудителей болезней, насекомых-вредителей, паразитарные и патогенные организмы; исследование механизмов эффектов гормезиса и ингибирования процессов роста, включая воздействие на ДНК и репарационные системы, биохимические и физиологические процессы, развертывание во времени транскрипционной активности генов; изучение радиочувствительности микроорганизмов разной таксономической принадлежности с использованием современных молекулярно-генетических методов, закономерностей репарации нарушенных метаболических процессов в микробных клетках и активности антиоксидантных систем; определение показателей пищевой ценности и качества облученной продукции, токсичности вторичных продуктов в зависимости от характеристик ИИ.

Разработка фундаментальных основ управления микробиологическими, биохимическими и технологическими процессами с использованием ионизирующих излучений при производстве и хранении продукции сельского хозяйства и пищевой промышленности в настоящее время находится в поле зрения многочисленных лабораторий, работающих во многих странах мира: Институт пищевых технологий (США), Лаборатория пищевой химии и технологии Университета Иоаннины (Греция), Токийский университет, Национальный институт науки и технологии (Филиппины), Научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и биотехнологии (Гана), Сельскохозяйственный университет (Болгария), Институт генетики растений (Польша), Институт электрофизики и радиационных технологий (Украина), Институт радиационных проблем (Азербайджан), Лаборатория радиационных технологий в пищевой промышленности Атомного научного центра им. Хоми Джехангира Баба (Индия), Институт пищевой промышленности и радиобиологии (Бангладеш), ГНУ «ОИЭИЯИ – Сосны» НАН Беларуси, Ядерная ассоциация Канады и др. География расположения научных

лабораторий охватывает весь мир. Это свидетельствует о пристальном внимании мировой науки к вопросам научно-методического обеспечения прорывных радиационных технологий.

Выполняемые в нашей стране работы в области создания и внедрения радиационных технологий базируются на работах, проводимых отдельными институтами, центрами и лабораториями в различных регионах страны, которые имеют многолетний опыт данных разработок и зачастую опираются на личную инициативу разработчиков.

Для обеспечения радиационных технологий научной базой необходимо провести следующие фундаментальные исследования:

1. Исследование действия физических факторов на возбудителей болезней растений, насекомых-вредителей и другие виды паразитарных и патогенных организмов в продукции растительного и животного происхождения.

2. Исследования действия радиационной обработки на биохимические, физико-химические, молекулярно-генетические, биохимические, физико-химические, морфологические и токсические показатели с целью обоснования и выбора оптимальных параметров воздействия.

3. Исследование механизмов эффектов гормезиса и ингибирования процессов роста при обработке семян и корнеплодов сельскохозяйственных культур, включая воздействие физических факторов на ДНК и репарационные системы; биохимические и физиологические процессы прорастания и задержки развития; развертывание во времени транскрипционной активности генов и изменение соотношения основных групп фитогормонов на начальных этапах онтогенеза и при длительном хранении.

4. Изучение чувствительности микроорганизмов разной таксономической принадлежности к воздействию физических факторов, закономерностей репарации нарушенных метаболических процессов в микробных клетках и активности антиоксидантных систем *in vitro* и с использованием моделей биологической среды различных облученных продуктов.

5. Изучение таксономической принадлежности микроорганизмов в продукции растительного и животного происхождения с использованием современных молекулярно-генетических методов инструментального анализа (MALDI-TOF масс-спектрометрии, сопоставления спектров рибосомальных белков с международной базой данных белковых спектров микроорганизмов, секвенирования генов 16S рРНК, филогенетического анализа, ПЦР и др.).

6. Разработка методов экспресс-оценки пост-радиационной микробной активности и устойчивости микроорганизмов к

последующим физическим и химическим воздействиям (температурные условия, повторное воздействие, эффективность веществ-консервантов).

7. Изучение показателей пищевой ценности и качества обработанных физическими факторами продуктов питания, токсичности продуктов вторичных превращений в зависимости от энергетических характеристик воздействия и от исходных физико-химических свойств облучаемых продуктов.

8. Создание современной методической базы для оценки качества обработанной продукции с использованием экспресс-методов биологического тестирования токсичности облученной продукции.

Внедрение РТ требует проведения комплекса прикладных работ, включая: модернизацию и разработку стационарных и мобильных облучательских установок, встраивание их в технологии по производству, переработке и хранению продукции; отработку регламентов облучения продукции; создание тест-систем контроля санитарной и экологической безопасности применения РТ; разработку национальных стандартов и технологических регламентов.

Прикладные направления работ по созданию радиационных агротехнологий включают:

1. Анализ мирового и отечественного рынка радиационных технологий, экономическое обоснование и выбор приоритетных для отечественного агропромышленного производства направлений применения РТ.

2. Модернизация и разработка стационарных и мобильных γ -установок и ускорителей электронов для обработки сельскохозяйственного сырья и пищевой продукции в составе специализированных и multifunctional радиационно-технологических комплексов или облучателей, встроенных в технологии по производству, переработке и хранению продукции.

3. Отработка регламентов обработки продукции и их производственная апробация в целях достижения основных компетенций РТ агропромышленного профиля (микробиологическая безопасность, продление сроков хранения, дезинсекция, детоксикация, стимуляция прорастания семенного материала).

4. Исследования микробиологических, молекулярно-генетических, биохимических, физико-химических, морфологических и токсических показателей для оценки эффективности радиационной обработки с целью обоснования выбора параметров радиационного воздействия.

5. Отработка показателей и систем (включая тест-системы) контроля санитарной и экологической безопасности применения РТ, а также выявления облученной продукции.

6. Разработка национальных стандартов и технологических регламентов радиационной обработки различных видов продукции

РАДИАЦИОННЫЕ И ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В ПЕРЕРАБОТКЕ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

**Смирнов В.П.,¹ Крастелев Е.Г.,² Сартори А.В.,¹
Часовских А.В.¹**

¹ АО «Наука и инновации» (предприятие Госкорпорации «Росатом»),
119017, г. Москва, ул. Б. Ордынка д. 40 стр. 1

² Объединенный Институт Высоких температур РАН, 125412, г.
Москва, ул. Ижорская д. 13 стр. 2

Аннотация

Освоение физики и техники мощных ускорителей релятивистских электронов, радиоизотопных источников излучения, а также импульсных высоковольтных генераторов электрических полей с напряжением порядка 100 кВ и более представило широкие возможности воздействия на вещество, в частности, на продукты агрокомплекса.

Ионизация, ведущая к созданию свободных радикалов, чувствительно действующих на микроорганизмы, используется как средство подавления процессов старения и развития насекомых – вредителей. Тактика показала, что пищевые свойства при этом сохраняются, и обработанные продукты доступны для приготовления пищи.

В Госкорпорации «Росатом» для этих целей созданы установки на базе Соб0, позволяющие обрабатывать массивные упаковки продуктов. Также развиты ускорительные комплексы либо для прямого облучения электронами, либо фотонами тормозного спектра. Для прямого облучения продуктов электронами требуется энергия до 10 МэВ, что не всегда приемлемо, но практически удобно. Массивные упаковки облучаемых продуктов более удобно облучать радиоизотопными источниками. Типичная активность установки на основе радиоизотопов находится на уровне 1000 кКи. В настоящее время существует дефицит этого изотопа. Поэтому в Госкорпорации «Росатом» предпринимаются меры по расширению производства Соб0, а также по изучению возможности применения новых изотопов, например, Еи. Можно ожидать, что проблема дефицита будет решена в ближайшие годы.

Другим интересным направлением переработки агропродуктов является электропорация. Работы опираются на опыт использования электрических полей в биологии и с относительно недавнего времени в пищевой промышленности за рубежом. В СССР подобные работы начинались еще в 60 годы. Суть метода заключается в разрыве цитоплазматических мембран клеток в результате необратимого пробоя в импульсных электрических полях. Выход внутриклеточной жидкости позволяет при извлечении соков избежать нагрева,

сохранить термонеустойчивые компоненты и уменьшить затраты энергии на обработку. В докладе также будут представлены примеры практического использования электропорации и активность авторского коллектива в создании технологий и оборудования.

Введение

Среди средств физического объемного воздействия на продукты растительного и животного происхождения первое место занимают проникающее ионизирующее излучение - рентгеновские и гамма лучи, электроны, а также электромагнитные волны, электрические и магнитные поля. Механизмы действия каждого из способов различны. Ионизация приводит к разрушению молекул, появлению радикалов, что в первую очередь поражает наиболее чувствительные организмы: большинство микробов и вредных насекомых. В результате увеличиваются сроки хранения, сокращаются потери из-за подавления размножения насекомых-вредителей. Одновременно происходят изменения и в полезной части продовольственного продукта. Многочисленные исследования установили, что при малых, но существенных для стерилизации дозах облучения эти изменения не представляют опасности для населения. Поэтому более, чем в 40 государствах, включая ведущие страны, применение ионизирующих излучений для обработки пищевых продуктов разрешено. К сожалению, Россия не входит в их число. В настоящее время принимаются попытки узаконить радиационную обработку пищевых продуктов в России. ГК «Росатом» совместно с другими организациями по поручению правительства составил план мероприятий по изучению возможности применения ионизирующего облучения для обработки сельскохозяйственной, пищевой продукции и внесения изменений в нормативно-правовую базу Евразийского экономического союза в сфере агропромышленного комплекса. Однако требования Минздрава о проведении обширной программы апробирования радиационной обработки, включая клинические испытания, отодвигает за горизонт официальное одобрение. Тем не менее, предприятия «Росатома» имеют опыт создания оборудования и поставки его зарубежным заказчикам и в случае принятия решений готовы расширить его производство. Для этой цели проводятся мероприятия по расширению объемов производства Со60 и рассмотрению новых более дешевых в массовом производстве изотопов, в частности, европия

Другим методом обработки продуктов является воздействие электрическими и магнитными полями, электромагнитным излучением. В простейшем случае оно приводит к нагреву вещества и не сопровождается объемной ионизацией. Промышленность может предоставить мощные источники излучения для такой обработки. Вместе с тем, существуют и более тонкие механизмы изменения

продуктов, которые могут использоваться для активации посевного материала, прежде всего для переработки сельхозпродукции. В докладе будут изложены результаты активно развивающегося направления электропорации.

Установки для радиационной обработки производства «Росатома»

Уникальные возможности атомной энергетики в производстве источников излучения на основе радиоизотопов предопределили появление облучательных установок для решения различных задач в области стерилизации медицинских изделий («холодная стерилизация»), обработки продуктов питания (дезинсекция, деконтаминация, пастеризация и др.), изменения свойств материалов и др. Данные установки довольно активно используются более, чем в 40 странах по всему миру, а в некоторых странах существуют обязательные требования к обработке той или иной продукции, без которой просто запрещено ее продавать. Одним из преимуществ указанного выше способа является возможность обработки упакованной (готовой к продаже) продукции, что позволяет снижать издержки при производстве.

Каждое из указанных направлений использования радиационно-технологической установки является самостоятельным, но их объединяют технологическое оборудование, на которых проводится процесс облучения продукции. Наиболее актуальными и перспективными являются установки, работающие на основе гамма-излучения или электронного пучка, позволяющие обрабатывать продукцию поглощенными дозами в диапазоне от 0,1 кГр до 30 кГр, что покрывает практически весь спектр потребностей в облучении. Исходя из поставленной задачи, выбирается тот или иной вариант излучения, так, например, для стерилизации медицинских изделий обработки зерна часто используются установки с ускорителем электронов, а для обработки продуктов питания используются гамма-установки. Каждая из указанных видов установка имеет свои преимущества и недостатки, поэтому однозначного выбора в пользу той или другой нет.

Создание таких установок можно приравнять к созданию мини завода, т.к. установка представляет из себя помещение площадью 200-400 м² (рисунок 1), где бетонные стены толщиной не менее 1 м защищают персонал от излучения, а по территории всего помещения проходит транспортная система, перемещающая специальные подвесные устройства с продукцией из зоны загрузки-выгрузки в зону облучения. Управление всеми системами осуществляется оператором с автоматизированного рабочего места, откуда он контролирует все технологические процессы, происходящие во время работы установки.

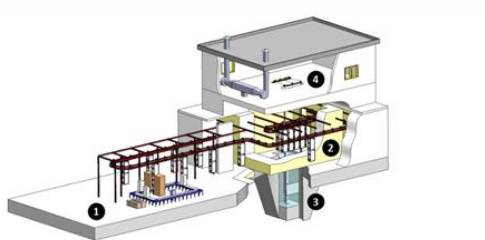


Рисунок 1 – Схема радиационно-технологической установки на основе гамма-излучения.

1 – зона загрузки-выгрузки, 2 – зона облучения, 3 – водный бассейн для хранения источников, 4 – вентиляционное помещение.

Особое внимание при создании облучательных установок уделяется безопасности объекта в целом и безопасности персонала при работе на установке. Поэтому на стадии проектирования разрабатывается система физической защиты, логической защиты и других систем, позволяющих предотвратить аварийную ситуацию. Создаваемые установки соответствуют требованиям международного агентства по атомной энергии (ИАЕА), ИАЕА стандарта безопасности, санитарным нормам и правилам РФ, нормам радиационной безопасности. Аналогичных конструкции установки были поставлены и успешно эксплуатируются как на территории РФ, так и за пределами РФ в Бангладеш, г. Дакка; Вьетнам, г. Ханой; Перу, г. Лима; Португалия, г. Лиссабон; Куба, г. Гавана и др.

Развитие технологий электропрораии

Во многих работах отмечалось влияние электрических и магнитных полей на развитие и переработку растений. Если для магнитных полей трудно сделать однозначные заключения, то для электрических полей можно с уверенностью утверждать наличие сильных эффектов воздействия. При наложении поля на жидкую среду с находящимися в ней клетками происходит перераспределение электрического потенциала из-за разности диэлектрической проницаемостей и проводимостей жидкости и компонент клетки. При этом поле концентрируется на клеточных мембранах, имеющих малую проводимость. При достижении критических значений происходит электрический пробой мембраны и через отверстие внутренняя область клетки сообщается с внешней средой. При малой интенсивности пробоя отверстие со временем закрывается, а клетка не погибает. Это позволяет устраивать межклеточный обмен между живыми клетками, что широко используется в генетике. При большой напряженности поля пробой носит необратимый характер, клетка погибает, а внутриклеточная жидкость выходит в межклеточную область. В традиционных

технологиях, например, сахароварении внутриклеточный сок извлекается благодаря нагреву свеклы до значительных температур, приводящих к разложению ряда ценных компонент сока. Потеря ценных компонент особо нежелательна при обработке молока или растений, используемых в фармацевтике и парфюмерии. Необратимая электропорация достигает такого же эффекта, но без нагрева. Другим достоинством метода является энергосбережение. В более сложных сочетаниях электропорация представляет интерес для медицинских приложений. Электрические поля могут также использоваться для стерилизации и очистки воды от загрязнений и микробов.

Жидкости, а в технологии это обычно вода, обладают проводимостью. Поэтому, чтобы избежать потерь энергии и нагрева среды электрическим током, используют частотные импульсные источники нано- и микросекундного диапазона. Характерные напряжения определяются требуемыми полями 1-10 кВ/см и размером обрабатываемого продукта. Для корнеплодов сахарной свеклы это порядка несколько сотен киловольт. Техника требуемых генераторов промышленного назначения хорошо развита, в особенности, в ОИВТ РАН, где построены уникальные установки для лабораторных и промышленных применений.

Для некоторых продуктов (яблоки, морковь, перец, картофель и сахарная свекла) было показано, что применение электропорации на стадии предобработки сырья дает увеличение выхода сока до 70%. При этом, по сравнению с термической обработкой, наблюдается увеличение чистоты и качества сока, повышение концентрации в соке ценных и полезных веществ, таких как белки, минералы, бэта-каротин до 60%. В сахарной свекле было получено 100% увеличение общего количества растворимых сухих веществ после применения электропорации с последующим прессованием. Еще более впечатляющие результаты дает совместное применение электропорации и омического нагрева, дающее повышение выхода сока до 85% по сравнению с традиционными методами обработки.

Для оценки масштаба энергосбережения достаточно сопоставить потребление энергии при традиционной применяемой тепловой экстракции сахарного сиропа (180 МДж/т или 50 кВтч/т, при 70–120°C, в течение 10–20 мин) и энергопотреблением при предобработке свеклы электропорацией (3–10 МДж/т или 1–3 кВтч/т, нормальные условия) при сохранении качества сока.

На Рисунке 2. показана технологическая схема экстракции сиропа из сахарной свеклы. Применение электропорации перед этапом диффузии позволит устранить или существенно сократить как расход энергии, так и капитальные затраты на диффузионные установки. Помимо этого, увеличение чистоты сока позволит значительно сократить последующий ресурсозатратный этап очистки сока



Рисунок 2. Технологическая схема экстракции сиропа из сахарной свеклы

Первый опытный завод по картофелю фри с использованием



Рисунок 3. Картофель после обработки ЭП

приготовлению полуфабриката картофеля фри с использованием электропорации производительностью 50 тонн/час введен в эксплуатацию в Голландии в 2014г (компания Pulsmaster). Обработка существенно улучшает потребительские свойства картофеля при жарке, в том числе позволяет сократить на 50% абсорбируемое количество масла.

Ключевым фактором для промышленного применения электропорации является наличие импульсных высоковольтных генераторов, обладающих высоки ресурсом (до 109 импульсов), а также применении технологии расчета и конструирования разрядных камер оптимальной конфигурации. Эти компетенции развиты в ОИВТ РАН. Опыт эксплуатации различных по мощности и применению установок электропорации создал задел для перехода на промышленное применение метода для безопасной и эффективной обработки пищевых продуктов.

Заключение

Реализация обсужденных технологий обработки агробиопродуктов технически доказана, но пока в России не введена в практику регламентирующими документами. Их появление, в принципе, открывает возможности широкого внедрения. Однако на этом пути предстоит еще найти ответы на существенные вопросы. Наиболее важным является доказательство в каждом конкретном случае экономической целесообразности. Необходимо также учитывать, что высокотехнологические производства потребуют подготовку соответствующих кадров и организации службы сервиса.

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ ТЕРАПИЯ ПРИ ОЗДОРОВЛЕНИИ РАСТЕНИЙ ГРУШИ ОТ ВИРУСОВ *IN VITRO*

Упадышев М.Т., Донецких В.И., Петрова А.Д., Метлицкая К.В.

ФГБНУ «Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства», 115598, Москва, ул. Загорьевская 4, vstisp@vstisp.org

Одним из физических факторов, влияющих на процессы роста и развития растений, является воздействие внешним магнитным полем. К достоинствам применения магнитно-импульсной обработки (МИО) относятся высокая технологичность, возможность автоматизации, низкая энергоёмкость, безопасность для человека. При использовании данного метода отсутствует фитотоксический эффект в отличие от применения многих химических препаратов, в ряде случаев активизируются ростовые процессы, не наносится вред окружающей среде, создаются безопасные условия работы для оператора вследствие локального распространения магнитного поля внутри индуктора [1].

Проведённые нами многочисленные исследования показали, что импульсные магнитные поля активно воздействуют на растения, отдельные их органы и клетки, на активность протекающих в них физиологических процессов [1, 2].

Ранее установлено, что МИО ингибировала вирусы ACLSV и АрMV на груше сорта Лада, вирус RBDV и TBRV – на малино-ежевичном гибриде [3, 4]. Наиболее перспективным режимом оказалась обработка магнитным полем с частотой 6,4 Гц. Свой безвирусный статус растения сохраняли и при повторном тестировании через год. Кроме того, МИО способствовала улучшению вегетативного развития растений: длина побегов возрастала в 2,4 - 2,9 раза в зависимости от культуры, их число в 1,2- 2,1 раза.

В основе метода лежит способность магнитного поля влиять на вирусы и иммунные реакции растений. Предположительный механизм действия МИО на вирусы связан с изменением изоэлектрической точки белковых компонентов вируса. Известно, что магнитное поле способно воздействовать на рН среды путем ее смещения в щелочную или кислотную сторону. Растворимость вирусов в изоэлектрической точке минимальна. Смещение рН может привести к нарушению водородных связей, изменению стабильности вирусных частиц и снижению их инфекционности или биосинтетической способности. Возможно, МИО приводит также и к разрыхлению белковой оболочки вируса, что препятствует его успешной репликации или затрудняет проникновение дефектных вирусных частиц в клетку. Нельзя исключить и вероятность неспецифических реакций растений вследствие действия магнитного

поля, повышающего иммунитет растительного организма к комплексу стрессовых факторов, в том числе и вирусному заражению. МИО может активировать синтез фенольных соединений (салициловой, галловой, феруловой и других фенолкарбоновых кислот, флавоноидов и т.д.), что обуславливает неспецифическую устойчивость растений [2, 5, 6, 7].

В настоящее время широкое использование данного экологически чистого метода воздействия в сельском хозяйстве затруднительно из-за отсутствия, как специализированного оборудования, так и технологий. Для решения данной задачи служит разработанный нами программно-управляемый персональным компьютером экспериментальный образец стимулятора магнитно-импульсного СМИ-5 [7].

Целью исследований являлось совершенствование методов оздоровления подвоев груши от латентных вирусов путем повышения эффективности оздоровления и экологической безопасности.

Изучали действие магнитно-импульсной терапии (МИТ) на оздоровление от вирусов подвоя груши Березолистная. Полученные на модифицированной питательной среде Мурасиге и Скуга микрорастения, зараженные вирусами мозаики яблони (ArMV), бороздчатости древесины яблони (ASGV) и ямчатости древесины яблони (ASPV), разрезали на микрочеренки длиной 10 мм и обрабатывали с помощью прибора СМИ-5 (разработанного в отделе механизации ФГБНУ ВСТИСП) импульсами магнитной индукции с частотой от 0,8 до 51,2 Гц на протяжении 8 мин. Каждый вариант включал 24 экспланта. Тестирование микрорастений проводили методом сэндвич-варианта иммуноферментного анализа (ИФА) с использованием диагностических наборов «Neogen» (Великобритания) по методике M.F. Clark, A.N. Adams [8]. Регистрацию результатов анализов проводили на планшетном фотометре «Stat Fax 2100» при длинах волн 405 и 630 нм.

Применение МИТ обеспечивало оздоровление от комплекса вирусов 55 % от числа тестированных эксплантов (таблица).

Таблица. Эффективность оздоровления груши (подвой Березолистная) от комплекса латентных вирусов с использованием магнитно-импульсной обработки (МИО)

Вариант	Выход здоровых растений, %			
	ASGV	ASPV	ArMV	от комплекса вирусов
Контроль (без обработки)	25	25	37,5	25
МИО	100	50	75	55

Оздоровление растений от одного вируса обычно протекало успешнее, чем от комплекса вирусов. Получение безвирусных растений в контроле, вероятно, связано с неравномерным распределением вирусов по тканям растений и действием факторов культивирования. В экспериментах удалось получить до 100 % свободных от вируса бороздчатости древесины яблони растений, что позволяет рекомендовать применение МИТ на стадии микроразмножения растений. При этом гибель эксплантов груши при использовании магнитной обработки составила 5 %, тогда как при применении химических ингибиторов вирусов нередко доходит до 40 % и более. МИО не ухудшала показатели вегетативного развития эксплантов по сравнению с контролем.

Рассчитанный годовой экономический эффект от внедрения данного способа оздоровления составляет 420 т. руб. на 1000 эксплантов.

Литература

1. Куликов И.М., Донецких В.И., Упадышев М.Т. *Садоводство и виноградарство*, 2015, № 4, 45.
2. Упадышев М.Т., Донецких В.И., Бешнов Г.В., Упадышева Г.Ю. *Доклады РАСХН*, 2005, № 3, 40.
3. Упадышев М.Т., Донецких В.И. *Доклады РАСХН*, 2008, № 4, 12.
4. Упадышев М.Т. Дис. ... докт. с.-х. наук, 2011.
5. Ковалев В.М., М.: МГСХА, 1997, 284.
6. Маринкович Б., Вулич М., Груйич М., Кияко В.И., Морозов Н.Ф., Четвериков А.Г. *Прикладная физика*, 2000, № 1, 98.
7. Донецких В. И., Бычков В.В., Упадышев М.Т. *Патент №2523162 РФ*, 2014.
8. Clark M.F., Adams A.N. *J. Gen Virol.*, 1977, 34, № 3, 475.

СОХРАННОСТЬ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПОСЛЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ

**Цыгвинцев П.Н., Тихонов А.В., Рачкова В.М., Любимова Л.А.,
Манин К.В.**

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», 249032, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, paul-gotel@mail.ru

Увеличение производства агропромышленной продукции и улучшение ее качества являются одной из важнейших задач обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации, решение которой невозможно без внедрения технологий, обеспечивающих рост производства продукции, снижение потерь при ее хранении и переработке. Одной из таких эффективных и экологически безопасных технологий, требующих меньших затрат энергии и позволяющих заменить или резко снизить использование фумигантов и других химических препаратов являются радиационные технологии, подразумевающие использование физических методов защиты растений (ионизирующее и неионизирующее излучение). При этом обработанные продукты не загрязняются остаточными количествами вредных химических соединений, не происходит термического разрушения органических соединений.

Воздействие гамма-облучения в дозе свыше 100 Гр подавляет прорастание картофеля и сокращает потери массы и сухого вещества клубней при дыхании даже при хранении в неблагоприятных условиях. Однако существует проблема встраивания процесса облучения в технологический цикл хранения картофеля, которая требует своей проработки как в плане наиболее подходящих видов облучения (гамма, пучок электронов или рентген) так и в плане подбора оптимальных доз и мощностей доз для картофеля разных сортов и для клубней, находящихся на различной физиологической стадии.

Поэтому целью эксперимента была оценка возможности использования тормозного гамма-излучения для облучения картофеля.

Материалы и методы

Облучение проводилось на ускорителе электронов ИЛУ-6 в режиме тормозного гамма-излучения в дозах 120, 240 и 360 Гр и на гамма-установке ГУР-120 с источником ^{60}Co в дозах 5, 10, 50, 100 и 150 Гр. Облучение клубней картофеля проводили в двукратной повторности. Контрольные и облученные образцы клубней хранились при комнатной температуре 18-22°C и относительной влажности 30-50%, в хранилище при температуре 10-12°C и относительной влажности 85-95% и в

холодильнике при температуре 4-6°C и относительной влажности 60-80% в течение свыше 5 месяцев. В процессе хранения проводили анализ клубней на потерю веса, содержание в клубнях сухого вещества, крахмала и сахаров.

Потерю веса картофеля в процессе хранения и содержание сухого вещества определяли гравиметрическим методом, содержание сахаров – с помощью рефрактометра в свежавыжатом соке, содержание крахмала по методу [1] с модификацией: измерения проводили при $\lambda=650$ нм; при калибровке спектрофотометра за ноль оптической плотности принимается 0,125 % раствор йода; для калибровочного графика использовали крахмал картофельный по ГОСТ Р 53876-2010, доведенный до постоянной массы при 103°C.

Достоверность различий вариантов опыта устанавливали на основе t-теста для средних.

Результаты и обсуждение

Качественные показатели клубней в процессе хранения в различных условиях представлены в таблице.

Таблица. Показатели качества клубней картофеля при хранении

Срок эксперимента, сутки	Группа, доза	Содержание крахмала, %	Содержание сухого вещества, %	Сахар, %
Хранение при 18-22 °С				
35	120 Гр	21,0±0,7	21,4±0,8	4,0±0,1
	240 Гр	22,8±2,3	23,1±1,7	4,6±0,1
	360 Гр	20,4±1,3	21,1±0,1	4,7±0,4
	контроль	10,2±0,7	20,7±0,9	4,8±0,2
77	120 Гр	14,2±1,0	21,3±0,1	4,3±0,1
	240 Гр	21,8±0,7	22,5±0,2	4,1±0,2
	360 Гр	13,9±1,1	20,0±3,2	4,0±0,2
	контроль	11,7±0,2	21,9±1,1	4,7±0,1
114	120 Гр	15,3±1,5	21,5±1,2	4,9±0,1
	240 Гр	22,9±0,8	22,9±2,2	5,2±0,3
	360 Гр	23,2±1,0	23,3±0,2	4,6±0,1
	контроль	20,0±1,7	22,3±1,2	5,4±0,2
159	120 Гр	19,2±0,7	24,0±0,4	5,3±0,7
	240 Гр	20,1±0,5	22,7±2,4	5,0±0,5
	360 Гр	14,2±1,1	22,6±1,5	5,0±0,3
	контроль	11,0±0,8	24,1±1,4	5,3±0,5
Хранение при 4-6 °С				
35	120 Гр	19,3±0,7	24,3±1,1	4,5±0,1
	240 Гр	16,4±0,7	20,4±0,4	4,7±0,1
	360 Гр	24,3±1,8	23,7±2,0	5,1±0,1
	контроль	12,6±0,8	26,3±1,2	4,8±0,1

77	120 Гр	14,6±0,5	21,2±1,3	5,5±0,5
	240 Гр	13,9±0,6	22,4±2,1	5,4±0,6
	360 Гр	18,4±0,7	22,7±2,3	4,6±0,2
	контроль	18,7±0,7	23,2±1,9	5,4±0,5
114	120 Гр	19,7±1,0	23,2±0,2	5,2±0,2
	240 Гр	17,1±1,7	19,4±0,1	5,6±0,1
	360 Гр	21,1±1,9	23,4±1,4	5,2±0,3
	контроль	15,2±1,1	23,3±0,5	5,0±0,2
159	120 Гр	15,8±2,2	21,9±1,9	5,1±0,3
	240 Гр	14,1±0,7	19,0±1,1	4,9±0,3
	360 Гр	10,4±0,9	18,3±0,4	5,5±0,2
	контроль	12,7±1,3	21,2±1,1	5,1±0,3

Как видно из представленных данных, во всех вариантах опыта гомеостаз клубней картофеля поддерживался на одинаковом уровне, не отмечено существенных изменений в процентном содержании в клубнях сахаров, крахмала и сухого вещества в течение всего срока хранения.

В то же время, динамика изменения веса клубней картофеля показывает значительные различия, как при разных условиях хранения, так и между контрольным и облученным картофелем (рисунки 1-2). При этом достоверных различий в потере веса картофеля, облученного в разных дозах, не отмечено.

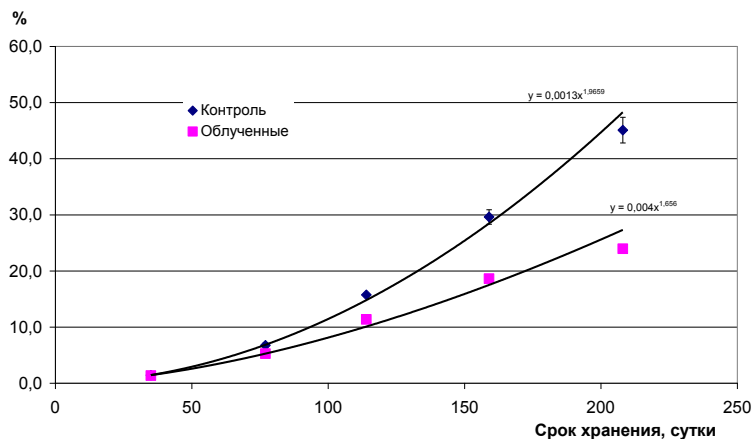


Рисунок 1. Потеря веса картофеля при хранении в комнатных условиях (18-22°C), %

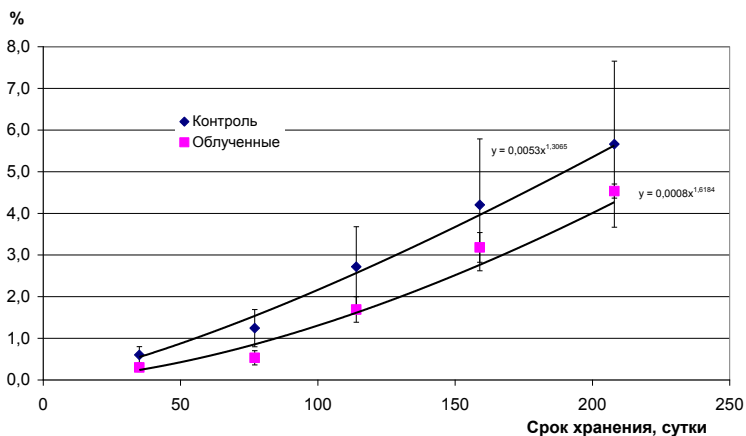
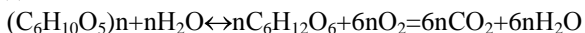


Рисунок 2. Потеря веса картофеля при хранении в холодильнике (4-6°C), %

При хранении в холодильнике, потери веса как облученного, так и необлученного картофеля составили менее 1% за каждый месяц хранения, хранение в неблагоприятных условиях привело к экспоненциальной потере массы (рисунок 1) при этом облученный картофель после 3 месяцев хранения терял массу в 1,5-2,0 медленнее.

Потери веса клубня происходят при хранении в результате 2-х процессов, транспирации воды и процесса дыхания. В процессе дыхания расходуются сахара, поглощается кислород и выделяется углекислый газ, при этом образуется вода. Сахара образуются в клубнях в процессе гидролиза. В общем виде результат потери крахмала при дыхании можно записать как:



Переведя это в весовые соотношения, можно утверждать, что при распаде 162 грамм крахмала клубень теряет 72 грамма сухого вещества, а оставшиеся 90 грамм преобразуются в воду. Используя данные по общей потере веса клубня при хранении и содержании сухого вещества можно отдельно рассчитать потери веса на дыхание и транспирацию. На рисунке 3 представлена динамика потери сухого вещества при хранении в неблагоприятных условиях. В данном случае наблюдается линейная потеря, контрольный картофель терял 0,07% сухого вещества ежесуточно, а облученный – только 0,04%.

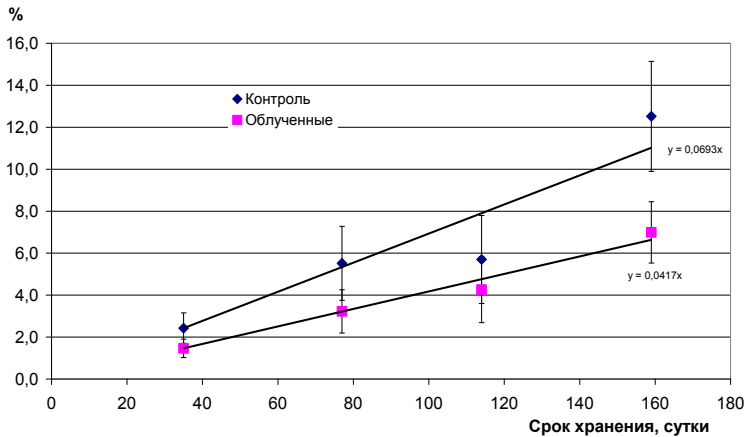


Рисунок 3. Потеря сухого вещества клубней картофеля при хранении в комнатных условиях (18-22°C), %

Помимо снижения потери массы и сухого вещества клубней, за счет транспирации и дыхания, облучение картофеля полностью остановило процесс прорастания клубней (рисунок 4).



Рисунок 4. Внешний вид клубней после хранения при различных температурах в течение 5 месяцев

Установлено, что облучение картофеля в дозе 100 Гр вдвое снижает количество проростков по сравнению с контролем, а в дозе 120 Гр и выше – полностью предотвращает прорастание картофеля.

Облучение в дозах свыше 100 Гр снижает потери веса клубней вследствие процессов дыхания и транспирации в процессе хранения в 1,5-2,0 раза по сравнению с необлученным картофелем. Так, в условиях хранения при высокой влажности (85-95%) и низкой температуре (10-12 °С) потери веса после 4 месяцев хранения составили в контроле 9,2%, в группах, облученных в дозе свыше 100 Гр – 4,9%. При хранении в комнатных условиях (влажность 40-60 % и температура 20-24 °С) после 5 месяцев потери веса клубней в контроле составили 29,6%, в группах, облученных в дозе свыше 100 Гр – 18,6%, при данных условиях хранения основная потеря веса клубней обусловлена процессами транспирации. Потери веса клубней при прорастании необлученного картофеля составили дополнительно 7-8% после 4 месяцев независимо от условий хранения.

Выводы

1. Установлено, что облучение картофеля в дозах 120-360 Гр полностью предотвращает прорастание картофеля. Потери веса клубней при прорастании необлученного картофеля составили дополнительно 7-15% после 5 месяцев хранения в неблагоприятных условиях.

2. При хранении в комнатных условиях после 5 месяцев потери веса клубней в контроле составили 29,6%, в группах, облученных в дозах 120-360 Гр – 18,6%, при данных условиях хранения основная потеря веса клубней обусловлена процессами транспирации.

3. Облучение в дозах свыше 120 Гр снижает потери веса и сухого вещества клубней вследствие процессов дыхания и транспирации в процессе хранения в 1,5-2,0 раза по сравнению с необлученным картофелем.

Литература

1. R. M. Mc Cready, W. Z. Hassid The Separation and Quantitative Estimation of Amylose and Amylopectin in Potato Starch J. Am. Chem. Soc., 1943, 65 (6), pp 1154-1157

ISBN 978-5-903386-43-7



Компьютерная верстка Пронина О.Э.

Подписано в печать 12.09.2016 г. Тираж 150 экз. Объем 61 стр. Усл. печ. л. 16,3

Издание ФГБНУ ВНИИРАЭ
249032, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км