

В области защиты растений можно отметить следующие важнейшие направления исследований с использованием изотопов и излучений: изучение биологии вредных насекомых, изучение токсикологии насекомых, грызунов и интоксикации растений, разработка метода стерилизации самцов вредных насекомых.

Таким образом, исследования прошедших двух десятилетий показали, что применение изотопов и ионизирующих излучений открыло широкие возможности для проникновения в сущность разнообразных жизненных процессов и для воздействия на эти процессы с целью повышения производительности сельского хозяйства.

Радиационная обработка пищевых продуктов — эффективный способ их сохранения для увеличения ресурсов питания человечества

В. И. РОГАЧЕВ

В решении проблемы обеспечения человечества пищей значительная роль должна быть отведена изысканию и использованию рациональных способов борьбы с потерями ресурсов питания. В самом деле, можно ли мириться с тем, что в 1962—1963 гг. из собранного пищевого сырья было недополучено около 400 млн. т пшеницы, риса, картофеля, мяса и рыбы [1]. Потери этих продуктов составляют во многих странах от 30 до 60%.

К числу причин, вызывающих столь большие потери, относятся: поражение зерновых культур насекомыми-вредителями, прорастание клубней картофеля и лука при хранении, микробиологическая порча плодов, овощей и картофеля, бактериальная порча мяса, рыбы и птицы.

Применяемые в настоящее время методы борьбы с этими видами порчи несовершенны и не способны полностью решить проблему количественного и качественного сохранения пищевых продуктов. Так, химические способы часто трудоемки, не всегда эффективны и, самое главное, при химической обработке в продуктах сохраняются остаточные количества химикатов, иногда приносящие вред здоровью человека и ухудшающие качество продукции. Замораживание мяса, рыбы, плодов и овощей снижает их пищевую ценность, ухудшает качество, особенно консистенцию, и приводит к существенным потерям при дефростации. Консервирование нагреванием не позволяет сохранить пищевые продукты в натуральном виде, сырыми.

Обработка пищевых продуктов ионизирующими излучениями позволяет во многих случаях преодолеть эти недостатки. С помощью радиационной обработки можно продлить сроки

хранения многих продуктов, сделать их более транспортабельными и существенно уменьшить потери при почти полном сохранении натуральных качеств сырья. Это объясняется тем, что поглощение продуктами ионизирующих излучений происходит почти без выделения тепла. Ни один из применяемых в настоящее время методов не дает возможности сохранить сырые мясо, рыбу, битую птицу, свежие плоды, овощи и другие продукты без денатурации их естественных свойств.

Эти обстоятельства и высокая эффективность ионизирующих излучений в подавлении многих факторов биологической порчи сырья привели к тому, что на первых порах прогнозы в отношении областей применения нового метода и его простоты были неоправданно оптимистичны. По мере развития исследований выяснилась необходимость комплексного решения некоторых вопросов, обусловленных специфичностью и сложностью действия ионизирующих излучений на пищевые продукты и биологические объекты.

В настоящее время значительное число задач решено, многие находятся еще в стадии исследования. Однако уже накоплен достаточный опыт, позволяющий более точно определить перспективные пути использования ионизирующей радиации для обработки пищевых продуктов.

В проблеме использования ионизирующих излучений для обработки пищевых продуктов важное место занимают вопросы, связанные с проверкой облученных продуктов на их безвредность для питания человека. В Советском Союзе к этой работе привлечены такие компетентные специализированные организации, как Институт питания АМН СССР и Институт

гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана. Пищевые продукты исследуются на разнообразных животных (мышах, крысах, курах, собаках, обезьянах) многих поколений. Применяется большое число разнообразных тестов. Только после получения основанных на многолетних исследованиях убедительных данных о безвредности Министерство здравоохранения СССР выдает разрешение на употребление облученных продуктов в пищу.

Созданные опытные установки для облучения пищевых продуктов обеспечили проверку разработанных способов в условиях, приближающихся к производственным. Задача ближайшего времени — осуществление нового метода на промышленных установках для накопления технико-экономических данных перед последующим массовым их применением.

К числу работ, подготовленных для такой промышленной проверки, относятся следующие [2].

Облучение клубней картофеля и лука для подавления их прорастания при хранении. В Институте биохимии им. А. Н. Баха АН СССР разработаны теория и практика облучения картофеля и лука. Прорастание картофеля в период выхода клубней из состояния покоя связано с синтезом нуклеиновых кислот в точках роста. Этот синтез резко замедляется под действием облучения. Одновременно происходят и другие сложные биохимические и коллоидно-химические процессы, приводящие к изменениям в анатомическом строении глазков клубней. Чтобы задержать прорастание и сохранить картофель в весенне-летний период, пригодна доза около 0,007—0,01 *Мрад*.

В результате исследований в Богучаровском филиале Всесоюзного научно-исследовательского института консервной и овощесушильной промышленности (ВНИИКОП) найдена возможность использования облученных клубней не только для непосредственного употребления в пищу, но и для изготовления из них консервов, сушеного картофеля, картофельной крупки, хрустящего картофеля и др. Это позволяет организовать работу картофелеперерабатывающих заводов в течение всего года.

На основе проведенных в Московском научно-исследовательском институте гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана гигиенических исследований Министерство здравоохранения СССР выдало разрешение на употребление в пищу картофеля, облученного дозой до 0,01 *Мрад*. Разрешено также использование лука, облученного дозой до 0,006 *Мрад*. Рекомендован-

ные условия облучения были проверены при облучении крупных партий картофеля и лука в 1964 г. на созданной опытно-производственной установке.

По расчетам, капитальные затраты на облучательную установку производительностью 10 тыс. *t* в сезон окупаются примерно за три года. Затраты на облучение с учетом уменьшения потерь при хранении облученного картофеля составляют 0,14 коп. на килограмм. Эти затраты могут быть снижены при использовании установки и для других задач, например для облучения посадочного картофеля с целью повышения урожайности, для облучения плодов и ягод и т. п.

Радиационное подавление прорастания имеет преимущества по сравнению с химическим методом: снижаются затраты труда, устраняется необходимость удаления химикатов перед употреблением овощей в пищу, отсутствует привкус от применяемых химических средств и др.

В настоящее время Министерством пищевой промышленности СССР принято решение оснастить два картофелеперерабатывающих завода (в РСФСР и УССР) подобными установками.

Радиационная дезинсекция пищевых продуктов. В результате исследований, проведенных во Всесоюзном научно-исследовательском институте зерна и продуктов его переработки (ВНИИЗ) и ВНИИКОПе, была доказана возможность радиационной дезинсекции зерна, круп, специй, пищевых концентратов, сушеных овощей и фруктов без ухудшения качества самих продуктов.

Гигиеническая оценка облученной пшеницы показала безвредность ее употребления в пищу, и в 1959 г. Министерство здравоохранения СССР дало соответствующее разрешение. В связи с этим во ВНИИЗе в 1963 г. начала работать специализированная опытно-промышленная установка для облучения зерна.

Разрешено также употребление в пищу облученных с целью дезинсекции сушеных фруктов, (дозы до 0,1 *Мрад*) и пищевых концентратов (дозы до 0,07 *Мрад*). Решено в ближайшее время построить опытно-промышленную установку для радиационной дезинсекции сухофруктов. Как показали экономические расчеты Всесоюзного научно-исследовательского института радиационной техники, капитальные затраты на установку производительностью 10 тыс. *t* в год составляют около 160 тыс. руб. Стоимость радиационной дезинсекции 1 *t* сухофруктов — 3 р. 43 к., а обработки сероуглеродом — 3 р. 96 к.

Для улучшения экономических показателей предполагается использовать установку также для облучения свежих плодов и ягод с целью продления сроков хранения и снижения потерь от микробиологической порчи.

Преимущества радиационного метода дезинсекции пищевых продуктов заключаются в отсутствии в обработанных продуктах ядовитых фумигантов, применяемых при химическом способе дезинсекции, улучшении условий труда и техники безопасности для обслуживающего персонала, возможности создания непрерывного и полностью автоматизированного процесса.

Подавление жизнедеятельности микроорганизмов для сохранения скоропортящихся пищевых продуктов. Ионизирующие излучения в зависимости от величины дозы подавляют полностью или частично жизнедеятельность микроорганизмов. Как показали исследования Института микробиологии АН СССР, при небольших дозах нарушается лишь способность клеток к размножению. По мере увеличения дозы нарушается обмен веществ клетки и, наконец, наступает ее отмирание. Величина дозы, вызывающая гибель микроорганизмов, зависит от их вида, штамма, возраста и физиологического состояния, внешних условий (среды, температуры, мощности дозы и др.), а также от исходного числа клеток. Существует математическая зависимость эффективности воздействия ионизирующих излучений на данный вид микроорганизма от дозы и радиостойчивости его клеток.

В зависимости от конечного эффекта различают три типа процесса обработки пищевых продуктов ионизирующими излучениями с целью их воздействия на микрофлору: 1) радапертизация — подавляется практически вся микрофлора, и продукт может сохраняться при отсутствии повторного заражения весьма длительное время; 2) радуризация — прекращает свою деятельность только часть клеток, однако это позволяет удлинить в несколько раз обычные сроки хранения; 3) радисидация — погибают все клетки определенного вида бактерий, а остальная микрофлора инактивируется лишь частично; это важно в борьбе с сальмонеллами и другими радиолабильными возбудителями пищевых отравлений.

Необходимость применения больших доз облучения, требующихся для надежного получения стерильных продуктов, не позволяет пока рекомендовать для практического использования радапертизацию. Процессы же радуризации

и радисидации имеют все основания для осуществления их на практике.

Установлено, что при уменьшении числа бактериальных клеток даже в 10 раз сроки хранения продуктов увеличиваются в 2—3 раза. Сроки хранения их еще больше возрастают при еще большем снижении количества микрофлоры. Дозы, необходимые для уменьшения числа клеток в 100—10 000 раз, в большинстве случаев не влияют на качество пищевых продуктов. Таким образом, применяя дозу в диапазоне 0,2—1,5 *Мрад*, можно подобрать для многих пищевых продуктов условия, при которых сроки хранения будут увеличены в 3—8 раз. При этом сохранится высокое качество продуктов и можно будет отказаться от замораживания, а иногда и от холодильного хранения.

Радуризация пригодна для мяса и мясопродуктов, рыбы и рыбопродуктов, продуктов морского промысла, плодов, ягод, овощей и продуктов их переработки. Остановимся на наиболее перспективных направлениях.

Увеличение сроков хранения свежего мяса хотя бы на несколько суток имеет большое экономическое значение. В настоящее время при длительных перевозках (например, морским транспортом) охлажденного мяса требуются холодильники, а иногда еще и оборудование для хранения в атмосфере углекислоты. Облученное охлажденное мясо можно перевозить из крупных районов мясозаготовок в центры потребления, в том числе на далекие расстояния с достаточно плотной укладкой в вагоны и трюмы, чего нельзя сделать для необлученного мяса.

Сроки хранения облученных сырых полуфабрикатов из мяса и кур увеличиваются в 2—5 раз по сравнению с контрольными необлученными образцами. Как показали опыты, проведенные во ВНИИКОПе, мясные полуфабрикаты из говядины, свинины, кроличьего мяса и кур, упакованные под вакуумом в пленочные материалы, сохраняются после облучения дозой 0,5—0,6 *Мрад* в течение 7—10 дней при 20° С или 8 недель при 5° С. Пицца, изготовленная из таких полуфабрикатов, обладает хорошими вкусовыми качествами, что подтверждено массовыми дегустациями как специалистов, так и потребителей.

Существенно возрастает после облучения срок хранения тушек битой потрошеной птицы (при 1° С — до 30 дней, при 3° С — до 21 дня, при 10° С — до 11 дней).

Расчеты показывают, что при производительности облучательной установки 4000 т мяса в год, коэффициенте использования излучения 36,5% и дозе 0,6 *Мрад* капитальные затраты составят около 410 тыс. руб. Эти затраты окупятся за 4 года. Стоимость облучения 1 кг мяса составляет 1,83 коп., а с учетом упаковки в полимерные пленки — 2 коп. Затраты на обработку и транспортировку (включая потери) 1 т говядины составляют при замораживании 48 руб. 33 коп., при охлаждении — 31 руб. 71 коп., при охлаждении и облучении — 29 руб. 61 коп. Для свинины эти затраты будут соответственно равны 54 руб. 17 коп., 37 руб. 04 коп. и 29 руб. 83 коп.

Работами Всесоюзного научно-исследовательского института мясной промышленности показано, что при облучении дозой 0,3 *Мрад* срок хранения копчено-вареных кореек, грудинок и полукопченой украинской колбасы, упакованных в полимерные пленки под вакуумом, достигает 45 дней, что в 3 раза превышает срок хранения необлученных изделий.

Положительные результаты были получены во Всесоюзном научно-исследовательском институте рыбного хозяйства и океанографии при хранении облученной рыбы, упакованной в пленку. При дозе 0,6 *Мрад* и температуре от 0 до 5° С ставрида дефростированная сохранялась без порчи до 15 дней, сом и карп свежие, сельдь дефростированная — до 30 дней,

щука свежая, треска и пикша дефростированные — до 60 дней. Хорошие результаты получены при облучении креветок, омаров и крабов. Рыбные кулинарные изделия (рыба жареная в томатном соусе и др.), упакованные в герметичную тару, после облучения дозой 1,5 *Мрад* сохранялись в отличном состоянии более 2 лет. В настоящее время начаты работы по созданию двух специализированных опытно-промышленных установок для облучения рыбы.

Во ВНИИКОПе в течение многих лет проводились исследования по облучению свежих плодов, ягод и овощей. Найденные при этом оптимальные дозы облучения позволяют задерживать развитие микрофлоры без глубоких физиологических нарушений в плодах и без ухудшения их качества. В течение 1964—1967 гг. были облучены товарные партии земляники, малины, абрикосов, персиков, винограда, слив, томатов. Министерством здравоохранения СССР выдано разрешение на реализацию этих партий для питания. В настоящее время выявляются технико-экономические показатели для решения вопроса о целесообразности промышленного использования радиационной обработки свежих плодов и ягод.

В таблице дан перечень облученных продуктов, разрешенных Министерством здравоохранения СССР для употребления в пищу.

Однако проблема радиационной обработки пищевых продуктов полностью не решена.

Перечень облученных пищевых продуктов, разрешенных Министерством здравоохранения СССР для употребления в пищу

Продукты	Назначение облучения	Доза, <i>Мрад</i>	Дата выдачи разрешения
Картофель	Подавление прорастания	0,01	14 марта 1958 г.
Зерно	Дезинсекция	0,03	1959 г.
Сушеные фрукты	»	0,1	15 февраля 1966 г.
Сухие пищевые концентраты	»	0,07	6 июня 1966 г.
Свежие плоды и ягоды	Подавление микроорганизмов для удлинения сроков хранения (радуризация)	0,2—0,4	11 июля 1964 г.
Сырые мясные полуфабрикаты из говядины, свинины и кроликов, упакованные в пленки (опытные партии)	То же	0,6—0,8	11 июля 1964 г.
Потрошенные битые куры, упакованные в пленки (опытные партии)	» »	0,6	4 июля 1966 г.
Кулинарно подготовленные мясные продукты, мясо жареное, антрекот, упакованные в пленки (опытные партии)	» »	0,8	1 февраля 1967 г.
Репчатый лук (опытная партия)	Подавление прорастания	0,006	25 февраля 1967 г.

Сделаны лишь первые шаги для ее реализации.

Предстоит большая работа по внедрению результатов исследований в народное хозяйство. Необходимо также продолжать комплексные научные исследования для решения многих задач. К их числу относятся: 1) радуризация свежей рыбы, рыбопродуктов и продуктов морского промысла; 2) раданпертизация различных пищевых продуктов; 3) радиационная обработка с целью интенсификации технологических процессов, улучшения использования сырья и повышения качества продукции в различных отраслях пищевой промышленности (винно-коньячная, сушильная, мукомольная, производство соков и минеральных вод, переработка крахмала и др.); 4) продление сроков

хранения молока, расфасованных плодовоовощных и других продуктов; 5) радисидация продуктов против салмонелл.

Для решения этих и других задач необходимо дальнейшее развитие теоретических исследований в области радиационной микробиологии, радиационной биохимии и химии, радиационной биофизики.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. Дювиньо, М. Танг. Биосфера и место в ней человека. М., «Прогресс», 1968.
2. Л. В. Метлицкий, В. И. Рогачев, В. Г. Хрущев. Радиационная обработка пищевых продуктов. М., «Экономика», 1967.

Радиоизотопные термоэлектрические генераторы

Г. М. Фрадкин, В. М. Кодюков

За последние годы все большее внимание уделяется созданию относительно маломощных автономных источников электрической энергии на основе использования энергии распада радиоактивных изотопов. Такие источники применяются главным образом для питания бортовой аппаратуры искусственных спутников Земли и межпланетных станций, океанографических и навигационных устройств, для питания различного рода метеорологических станций. Имеются также сообщения об использовании изотопных источников тепловой и электрической энергии для питания различных пусковых устройств, стимуляторов сердца и для других целей.

В диапазоне мощностей 1—1000 *вт* и при сроке автономной работы 0,5—10 лет изотопные термоэлектрические генераторы имеют энергоемкость на два-три порядка выше лучших образцов химических источников электрической энергии при существенно более высокой надежности. В отличие от солнечных батарей они не требуют специальной защиты от повреждений в радиационных поясах Земли, ударов микрометеоритной пыли, не создают дополнительной парусности и не требуют сложной системы ориентации.

Работы по созданию изотопных термоэлектрических генераторов проводились при тесном взаимодействии организаций Госкомитета по использованию атомной энергии СССР и АН СССР. Здесь рассматриваются научно-технические основы создания этих источников.

Радиоактивное топливо

Основные требования, предъявляемые к радиоактивным изотопам. В настоящее время известно более 1000 радиоактивных изотопов, поэтому, чтобы правильно выбрать топливо для изотопных термоэлектрических генераторов, необходимо детально изучить их ядерно-физические свойства, в первую очередь скорость изменения числа исходных ядер («скорость горения») и количество энергии, выделяемой при одном акте распада. Наиболее пригодными в качестве радиоактивного топлива являются изотопы с периодом полураспада в пределах 100 дней $\leq T_{1/2} \leq 100$ лет (~ 50 изотопов), из которых может быть получено 12—15 изотопов в большом количестве.

Основным преимуществом α -радиоактивных изотопов является высокое значение энерговыделения на акт распада, причем основная его часть переходит в кинетическую энергию α -частицы и ядра отдачи, пробег которых (доли миллиметра) полностью укладывается внутри радиоактивного препарата и в стенках изотопного блока. Для некоторых радиоактивных изотопов (являющихся родоначальниками цепочки радиоактивных превращений — Ac^{227} , Th^{228} , U^{232}) суммарное энерговыделение на один акт распада материнского изотопа (ΣE) составляет 30—40 *Мэв*, что соизмеримо с энергией деления тяжелых ядер. Важным является также то обстоятельство, что при α -распаде большинство переходов происходит на основной