

Лучевая обработка пищевых продуктов

Ян ван Козей*

Право на постоянное снабжение продуктами питания является одним из основных прав человека. Тем не менее, сегодня в мире каждый восьмой человек страдает от хронического недоедания, и эта проблема, вероятно, станет еще более острой, после того как в течение последующих тридцати-сорока лет население планеты удвоится.

Поскольку более 25% сельскохозяйственной продукции пропадает из-за различного рода потерь и порчи, сохранение пищевых продуктов представляет собой проблему не менее важную, чем их производство. В связи с этим более разумно сохранять уже произведенную продукцию, чем увеличивать ее производство для компенсации последующих потерь. Помимо предотвращения потерь как в развитых, так и в развивающихся странах, все возрастает потребность в продуктах питания, сохраняющих свои питательные качества в течение длительного периода их хранения. Существуют вполне очевидные предпосылки использования излучений для сохранения пищевых продуктов и сельскохозяйственной продукции, с тем чтобы сократить таким образом их нехватку во всем мире и производить продукты питания, безопасные для потребления.

Энергетический кризис заставил пересмотреть эффективность традиционных методов сохранения пищевых продуктов с точки зрения энергетических затрат, требуемых для их применения. Помимо этого, некоторые устоявшиеся технологии, например, высушивание, обработка химическими веществами и копчение, в настоящее время поставлены под сомнение в плане их биологической безопасности, экономичности и возможного снижения качества обработанных такими методами продуктов.

Двадцать пять лет исследовательской работы в области сохранения пищевых продуктов с помощью лучевой обработки показали, что эта технология позволяет снизить потери урожая и производить продукты, безопасные для употребления. По сравнению с обычными методами сохранения пищевых продуктов эта технология требует значительно меньших затрат энергии и может заменить или резко снизить применение пищевых консервантов и fumигантов, которые представляют опасность как для потребителей, так и для работников предприятий пищевой промышленности.

Технологическая целесообразность более важных применений лучевой обработки пищевых продуктов давно установлена. Тем не менее серьезного внимания заслуживают вопросы приемлемости этого про-

цесса для регулирующих органов национальных правительств и потребителей. Более того, во многих странах внедрение новых технологий затруднено низким уровнем их благосостояния. Многие развивающиеся страны подчас стремятся эффективно внедрять в процесс лучевой обработки пищевых продуктов, располагая при этом ограниченной научно-технической информацией и неподходящей инфраструктурой.

Процесс облучения пищевых продуктов связан с воздействием на продукты питания ионизирующим излучением таким образом, что эти продукты поглощают определенное количество этого излучения. Источники излучения, используемые для облучения пищевых продуктов, включают:

- гамма-излучение от изотопов Co-60 или Cs-137;
- рентгеновское излучение, генерируемое установками с энергией 5 МэВ или менее;
- пучки электронов, генерируемые установками с энергией 10 МэВ или менее.

Методы измерения поглощенной дозы отличаются в зависимости от источника излучения, причем методы дозиметрии имеются в большом разнообразии [1].

Диапазон доз, необходимых для эффективной обработки [2]

	кГр*
Замедление прорастания картофеля и лука	0,03-0,1
Стерилизация насекомых-вредителей и паразитов	0,03-0,2
Уничтожение насекомых-вредителей и паразитов	0,05-5
Снижение в 10^6 раз количества вегетативных бактерий, плесени и грибка	1-10
Снижение в 10^6 раз количества высушенных или замороженных вегетативных бактерий, плесени и спор	2-20
Снижение в 10^6 раз количества вирусов	10-40
Стерилизация пищевых продуктов	20-45

* 1 кГр (Грэй) = 100 000 бэр (= 1 джоуль/кг).

Поскольку при лучевой обработке не происходит нагрева пищевых продуктов, они сохраняют свою первоначальную свежесть (рыба, фрукты, овощи) и физическое состояние (замороженные или высушенные продукты). При этом в упакованных продуктах отсутствуют вещества, вызывающие порчу (бактерии, насекомые и т.д.), и, если упаковочные материалы не проницаемы для бактерий и насекомых, то повторного загрязнения не происходит. Облучение упакованных продуктов имеет особое значение в тех случаях, когда в местах, где производятся пищевые продукты, трудно поддерживать гигиену, например в тропических условиях.

* Руководитель Секции сохранения пищевых продуктов Объединенного отдела ФАО/МАГАТЭ.

Благодаря способности замедлять прорастание корнеплодов, препятствовать размножению насекомых; убивать насекомых и паразитов; инактивировать бактерии, споры и плесень (вызывающие порчу продуктов питания); замедлять процессы созревания в фруктах; и улучшать технологические свойства продуктов; лучевая обработка дает возможность снизить потери собранного урожая и получать питательные пищевые продукты, пригодные к длительному хранению. За прошедшие годы было собрано множество данных о технологии и микробиологии облученных продуктов. Высококачественные обзоры по этой теме содержатся в статьях, указанных ниже в списке литературы [3-6]. В настоящей статье основное внимание сосредоточено на некоторых наиболее важных аспектах лучевой обработки пищевых продуктов.

Улучшение гигиены обработки пищевых продуктов: с точки зрения гигиены выгоды от применения технологии лучевой обработки пищевых продуктов могут быть такими же значительными, как и достигаемый экономический эффект, или даже большими. Это объясняется тем, что дозы примерно до 5 кГр способны поражать неспорообразующие патогенные микроорганизмы (например, *Salmonella*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Staphylococcus aureus* и пр.), которые являются основными источниками наиболее серьезных заболеваний, переносимых пищевыми продуктами. С помощью облучения можно снизить микробное заражение, например, стойкими к нагреву спорами, пряных и смешенно высушиваемых культур. Эти стойкие к нагреву споры вызывают проблемы при консервировании мясных продуктов, потому что из-за их присутствия в недостаточно очищенных пряностях возникает необходимость в тепловой обработке мяса, что делает конечный продукт менее приемлемым с органолептической точки зрения.

Очистка пищевых продуктов: для стерилизации пряностей или снижения содержания в них микробов широко используется окуривание окисью этилена или окисью пропилена. Однако эффективность такой обработки зависит от содержания в пряностях влаги, которая для достижения оптимальных результатов должна составлять по крайней мере 10%. Окуривание не уничтожает бактерий плесени. Применение этого процесса также связано с опасностью для здоровья работников предприятий пищевой промышленности, и в результате образования хлоргидринов (LD_{50} , что равно 0,07 г/кг веса тела подопытных животных) — с возможным непосредственным токсическим воздействием. Облучение представляет собой относительно простой процесс обработки, который не требует повторной упаковки продуктов. С другой стороны, обработка окуриванием проводится в несколько этапов: повторная гидратация продуктов паром, предпочтительно в течение 24 часов; обработка фумигантом приблизительно в течение 16 часов: удаление остаточных паров фумиганта путем частого обдува продуктов воздухом (опасность повторного заражения); высушивание; и затем повторное измельчение спекшихся порошкообразных продуктов. Стоимость такого многоступенчатого

процесса окуривания оказывается в два раза выше, чем стоимость обработки облучением.

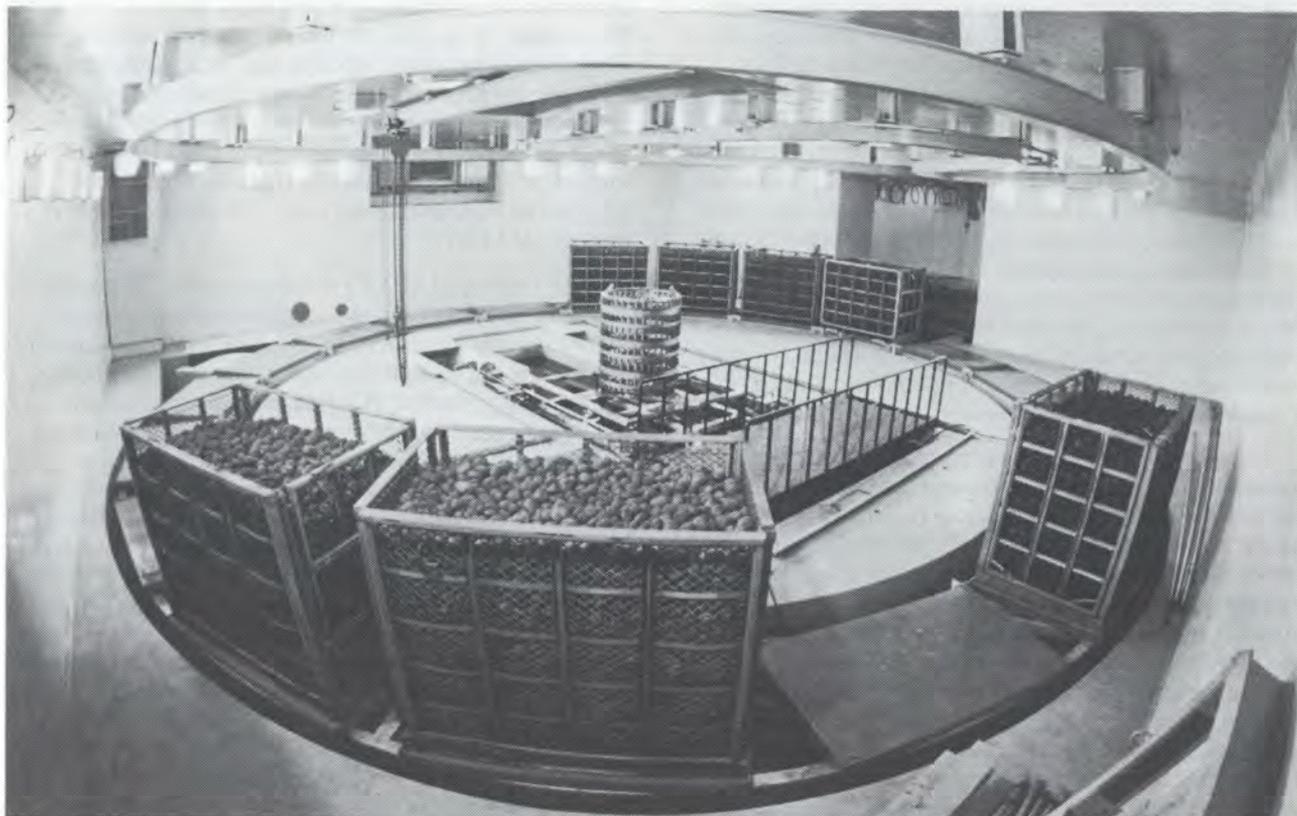
Карантинная обработка широко применяется для овощей и фруктов, предназначенных для международной или межгосударственной торговли. До тех пор, пока в зараженных районах не уничтожены насекомые-вредители, продукты, поступающие из этих районов, нуждаются в обработке признанными методами, прежде чем они будут экспортироваться в незараженные насекомыми-вредителями районы. Такие виды обработки должны быть безопасными с биологической точки зрения, не должны снижать качества продуктов и должны быть экономичными. В настоящее время признанным методом карантинной обработки цитрусовых, папайи и прочих овощей и фруктов является их окуривание бромистыми органическими фумигантами, биологическая безопасность которых сегодня вызывает сомнения.

Практически все виды фруктов, поступающих в международную торговлю, можно облучать дозами, уничтожающими наиболее опасных насекомых-вредителей, таких, как плодовая мушка. Для обработки облучением потребовалось бы относительно немного времени. Поскольку в этом случае отсутствуют остатки фумигантов, вентиляция, необходимая при обработке окуриванием, не требуется, а это в свою очередь уменьшает промежуток времени между сбором и отправкой фруктов на целый день. Обработка упакованных продуктов уменьшает вероятность их повторного заражения, обеспечивая таким образом еще большую гарантию надежности карантинной обработки. Учитывая также, что лучевая обработка продлевает период хранения продуктов (замедляет их созревание), сроки их сбыта можно увеличить на 2-5 дней.

Облучение можно также использовать для карантинной обработки семян манго против жука-долгоносика. В Южной Африке была выполнена обширная программа исследований по этой теме. Обработка заключается в погружении в горячую воду для предотвращения плесневения и облучении дозой в 0,75 кГр для целей карантина, а также для продления срока хранения.

Облучение сушеной и копченой рыбы: распространенным методом сохранения рыбы в тропических странах является высушивание ее на солнце. Во время высушивания рыба заражается личинками нескольких видов мух, и это приводит к значительным потерям при ее хранении и сбыте. Уже через три дня в сушеной рыбе можно найти личинки мух. До тех пор, пока не возникла проблема химических остатков, нанесение пестицидов непосредственно на рыбу во время ее сушения или хранения использовалось в качестве единственного метода дезинфекции от мух. Помимо заражения личинками насекомых, основными причинами порчи и ухудшения качества сушеной рыбы являются плесень, бактерии и обесцвечивание.

Потери необработанных высушенных продуктов в период хранения и сбыта в некоторых районах мира могут достигать 50-70%. Гамма-лучевая обработка является зарекомендовавшим себя эффективным



Установка для облучения картофеля в сельскохозяйственном кооперативе Шихоро, Япония. Общий вид камеры, где производится облучение картофеля и лука в контейнерах.

методом дезинфекции сушеной и копченой рыбы от насекомых. Доза в приблизительно 2 кГр уничтожает 99% всех личинок, а совсем низкая доза в 0,3 кГр лишает их жизнеспособности и не дает личинкам всех видов мух развиваться во взрослые особи. В ряде случаев комбинированное применение токсикологически нейтральных консервантов (например сорбатов) и лучевой обработки может значительно увеличить срок хранения некоторых видов продуктов, способствуя таким образом расширению их сбыта. Одним из таких продуктов является копченая рыба, которая широко употребляется в пищу в странах Юго-Восточной Азии и района Тихого океана.

Продукты, пригодные к длительному хранению: разработанная в Натикских лабораториях США технология комбинированной обработки, которая заключается в введении обычных добавок, мягкой гепловой обработке и облучении, позволяет сохранять высококачественные мясные продукты, птицепродукты и рыбу. После облучения стерилизующими дозами эти продукты можно хранить не замораживая в течение многих лет. Особенно перспективным применением этого метода является радиационная стерилизация бекона, которая позволяет получить пригодный к длительному хранению продукт без использования нитрита. Хотя сами они не обладают

канцерогенными свойствами, используемые для копчения соли, такие, как нитрит и нитрат, при нагреве вместе с белками (при поджаривании продуктов) могут образовывать нитрозоамины, некоторые из которых являются общепризнанными канцерогенами. Технология комбинирования облучения и мягкой тепловой обработки для сохранения белковых продуктов может принести в будущем значительную пользу, особенно для развивающихся стран, потому что при хранении продукты можно предохранять от порчи таким образом, который соответствует инфраструктуре многих развивающихся государств.

В течение последнего десятилетия Объединенный отдел ФАО/МАГАТЭ в одностороннем порядке или в тесном сотрудничестве с Международной организацией здравоохранения (ВОЗ), Организацией экономического сотрудничества и развития и Объединенной программой ФАО/ВОЗ по разработке стандартов продуктов питания, предпринял ряд мер, направленных на содействие приемлемости облученных пищевых продуктов в международном масштабе. На совещаниях Объединенной комиссии экспертов ФАО/МАГАТЭ/ВОЗ по питательным качествам облученных пищевых продуктов (1969, 1976 и 1980 годы) была сделана оценка безопасности упо-

требления облученных пищевых продуктов человеком. На совещании этой Комиссии в 1980 году было сделано заключение о том, что облучение любых пищевых продуктов в дозах до 10 кГр не представляет токсикологической опасности и поэтому проверка обработанных таким образом продуктов питания на токсичность более не требуется [7]. Важные применения низких доз облучения (например, для замедления прорастания корнеплодов, дезинфекции от насекомых, замедления созревания фруктов), а также средних доз (например, для снижения микробного заражения, уменьшение количества неспорообразующих патогенных микроорганизмов, улучшения технологических свойств продуктов) находятся в рамках этого рекомендуемого предела доз.

Дозы в 10 кГр недостаточны для возможного применения излучений в области радиационной стерилизации пищевых продуктов (продуктов, пригодных к длительному хранению). Использование высоких доз облучения для стерилизации мясных продуктов, птицепродуктов и рыбы в настоящее время привлекает к себе все больший интерес в силу того, что оно требует значительно меньше энергии, чем другие методы обработки, например, обработка теплом и последующее хранение в холодильнике. Однако, для того чтобы оценить безопасность использования высоких доз облучения (20-45 кГр), необходима дополнительная информация об их воздействии на питательные, микробиологические и токсикологические качества продуктов. Разрешение на использование облученных продуктов питания или процесса обработки пищевых продуктов может быть выдано только национальными органами здравоохранения. Принимая решение, национальные органы, как правило, руководствуются рекомендациями или оценками международных организаций, особенно ВОЗ. В настоящее время соответствующие органы в 22 государствах дали окончательное или предварительное разрешение на использование 39 наименований пищевых продуктов или групп аналогичных пищевых продуктов. Совсем недавно Комиссия по облученным продуктам питания Бюро пищевых продуктов рекомендовало значительно сниженные критерии выдачи разрешения на сбыт облученных пищевых продуктов на внутреннем рынке и эти критерии были приняты администрацией США по продуктам питания и медикаментам.

Для содействия внедрению лучевой обработки пищевых продуктов в международном масштабе необходимо разработать национальное законодательство и нормативные процедуры, которые укрепят уверенность среди торгующих государств в том, что пищевые продукты, облученные в одной стране и предлагаемые для продажи в другую страну, отвечают общеприемлемым стандартам питательности, гигиены и контроля за лучевой обработкой. Для оказания помощи в согласовании национальных законодательств Комиссия Codex Alimentarius приняла рекомендуемые международные стандарты для облученных пищевых продуктов [9], которые будут разосланы для утверждения государствам – участникам программы FAO/ВОЗ по разработке стандартов пищевых продуктов. Эти нормы основаны на рекомендации по использованию восьми наименований

пищевых продуктов, которая была дана в 1976 году Комиссией экспертов по питательным качествам облученных пищевых продуктов, однако ее предстоит пересмотреть в свете рекомендаций совещания этой Комиссии, проходившего в 1980 году. Пересмотр этих норм в сотрудничестве с ВОЗ и FAO является одной из целей программы по лучевой обработке пищевых продуктов Объединенного отдела FAO/МАГАТЭ.

В 1979 году МАГАТЭ опубликовало "Типовые правила, регулирующие торговлю и контроль за облученными продуктами питания" [10], предоставив таким образом в распоряжение правительств государств – членов РСС* важные руководящие принципы для согласования их национальных законодательств в соответствии с Codex Standard и Сводом положений по эксплуатации установок, используемых для радиационной обработки пищевых продуктов. Включение этих правил в существующие национальные законодательства о продуктах питания значительно бы облегчило международную торговлю и обеспечило бы аналогичный и эффективный контроль за облученными продуктами питания.

Признания питательных качеств облученных продуктов и согласования национальных правил юридического контроля за процессом лучевой обработки и международной торговлей облученными продуктами питания еще недостаточно для промышленного внедрения этого метода. Для достижения этой цели необходимо провести эксперименты, показывающие, что лучевая обработка продуктов питания экономически целесообразна.

В рамках программы координированных исследований изучаются возможности, позволяющие государству увеличить долю его основных сельскохозяйственных культур на международном рынке (например, какао, бобов, фиников, фруктов, пряностей), а также увеличить поставки пищевых продуктов на национальном уровне за счет снижения потерь урожая и предотвращения различных видов порчи продуктов (например, основных продуктов питания, сушеной рыбы, рыбопродуктов и овощей). В этих исследованиях особое внимание будет уделено: приемлемости облученных пищевых продуктов для регулирующих органов национальных правительств и потребителей; разработке высококачественных методов производства с тем, чтобы и поставщики, и потребители получали высококачественные продукты, поскольку в противном случае сомнительное качество продуктов может быть ассоциировано с методом их обработки; признанию того, что крупномасштабное применение лучевой обработки пищевых продуктов требует промышленно организованной сельскохозяйственной системы; привлечению национальных органов и в пищевой промышленности к исследованиям и разработкам; экономическим аспектам размещения и конструкции установок для облучения сезонного, круглогодичного или многоцелевого назначения.

* Региональное соглашение о сотрудничестве в исследованиях, разработках и в подготовке кадров, связанных с ядерной наукой и техникой.

Многие развивающиеся страны располагают весьма ограниченной научно-технической информацией. Ученые и специалисты в развивающихся странах, связанные с исследованиями, разработками и руководством в области облучения пищевых продуктов, нуждаются в более практической подготовке, которая позволила бы им решать специфические проблемы, существующие в их странах. Основная цель деятельности Международной лаборатории по технологии облучения пищевых продуктов (МЛТОПП) заключается в подготовке ученых из развивающихся стран по технологическим, экономическим и коммерческим аспектам лучевой обработки пищевых продуктов [11]. Деятельность МЛТОПП также включает координацию в международном масштабе исследований и разработок в области лучевой обработки пищевых продуктов и оценку целесообразности применения методов лучевой обработки пищевых продуктов. Некоторые государства Юго-Восточной Азии и района Тихого океана в настоящее время принимают участие в осуществлении Регионального проекта сотрудничества в Азии в области облучения пищевых продуктов. Основная цель этого проекта заключается в согласовании и содействии исследованиям по лучевой обработке четырех отобранных пищевых продуктов на полупромышленном уровне, а именно рыбных продуктов, манго, лука и пряностей, которые скорее всего найдут практическое применение в недалеком будущем [12].

История развития технологий сохранения пищевых продуктов наглядно иллюстрирует тот факт, что внедрение новых методов всегда требует значительного времени. Следует также отдавать себе отчет в том, что ни одна из традиционных технологий обработки пищевых продуктов, применяемых в настоящее время в широком масштабе, например, нагрев, охлаждение, высушивание, не подвергалась тщательным исследованиям на сохранение питательных качеств продуктов; для их промышленного внедрения также не требовалось специального законодательства, получения согласия органов здравоохранения и соответствующей подготовки потребителей.

Тем не менее во всем мире не продолжает ослабевать интерес к технологии лучевой обработки пищевых продуктов несмотря на то, что в последующие годы для внедрения этого метода в промышленном масштабе потребуются приложить значительные усилия и заручиться поддержкой международных организаций, правительств и пищевой промышленности.

Список литературы:

- [1] *Manual of food irradiation dosimetry* Technical Report Series No. 178, IAEA, Vienna (1977).
- [2] **A. Brynjolfsson**, *Food Irradiation in the United States* In: Proc. 26th European Meeting of Meat Research Workers, August 31–September 5, 1980, Colorado Springs, USA Vol.1 Publ. by American Meat Science Association (1980).
- [3] **E.H. Kampelmacher**, *The prospects of the elimination of pathogens by the process of food irradiation* Proc. Int. Symp. on combination processes in food irradiation, Colombo, Sri Lanka, 24–28 November 1980 (In press).
- [4] **H.T. Brodrick, A.C. Thomas**, *Radiation preservation of subtropical fruits in South Africa* In: Food Preservation by Irradiation, Vol. 1, pp. 167–178, IAEA, Vienna (1978).
- [5] **W.M. Urbain**, *Food irradiation* Advances in Food Research, Vol. 24, pp. 155–227 Academic Press, USA (1978).
- [6] **E.S. Josephson**, *Nutritional aspects of food irradiation: an overview* J. of Food Processing and Preservation, 2 pp. 299–313 (1978).
- [7] *Wholesomeness of irradiated food* Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee, WHO Technical Report Series No. 659 (1981).
- [8] US Federal Register, Vol. 46, No. 59, p. 18992–18994 (March 27, 1981). *Policy for irradiated foods; Advanced notice of proposed procedures for the regulation of irradiated foods for human consumption.*
- [9] *Recommended international general standard for irradiated foods and recommended international code of practice for the operation of radiation facilities for the treatment of foods* Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Codex Alimentarius Commission, CAC/RS 106–1979, CAC/RCP 19-1979.
- [10] *International acceptance of irradiated food: legal aspects* Legal Series No. 11, IAEA, Vienna (1979).
- [11] Food irradiation newsletter, Vol. 2, No. 1 (1978) and Vol. 5, No. 1 (1981).
- [12] Food irradiation newsletter, Vol. 5, No. 1 (1981).