

Применение изотопов и излучений в сельском хозяйстве*

К. Г. Ламм

Размышляя об атомной энергии, люди чаще всего имеют в виду ядерные реакторы. Однако не многие знают, что другой аспект атомной энергии внес изменения в их повседневную жизнь за последние двадцать-тридцать лет. При создании Международного агентства по атомной энергии в 1957 году одной из основных задач было содействие более широкому использованию радиоизотопов и источников излучений в науке, промышленности, сельском хозяйстве и медицине. В настоящее время лишь немногие представляют себе, в какой мере достигнута эта цель. Например, радиоизотопы и контролируемое излучение используются для улучшения продовольственных культур, сохранения пищевых продуктов, определения запасов грунтовых вод, стерилизации медицинских препаратов, анализа гормонов, рентгенографии трубопроводов, управления промышленными процессами и изучения загрязнения окружающей среды. При использовании очень многих предметов, которыми мы пользуемся в нашей повседневной жизни, тем или иным образом использовалось излучение.

Некоторые радиоактивные элементы, например, радий, встречаются в природе, однако большинство радиоактивных материалов производится на атомных реакторах или с помощью ускорителей. На ускорителе обычно можно получить в одно и то же время лишь один тип радиоизотопа, в отличие от реактора, где одновременно можно получить много различных радиоизотопов.

С появлением ядерных реакторов стало возможным получать большие количества радиоактивного материала при низких затратах. Именно поэтому с конца 1940-х годов началось широкое применение радиоактивных изотопов, полученных искусственным путем. Современная технология предоставила научному сообществу возможность использовать стабильные изотопы, которые не испускают излучение.

В повседневной жизни нам необходимы пищевые продукты, вода и крепкое здоровье. В настоящее время изотопы стали играть важную роль в технологиях, которые обеспечивают удовлетворение этих основных наших потребностей.

* *Адаптация публикации МАГАТЭ "Изотопы в повседневной жизни".*

Г-н Ламм является заместителем директора Объединенного отдела ФАО/МАГАТЭ по применению атомной энергии в пищевой промышленности и сельском хозяйстве, Департамент научных исследований и изотопов, МАГАТЭ.

ПИЩЕВЫЕ ПРОДУКТЫ И СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

В 1964 году Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО) и Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) создали Объединенный отдел ФАО/МАГАТЭ по применению атомной энергии в пищевой промышленности и сельском хозяйстве, который расположен в Центральных учреждениях МАГАТЭ в Вене. Этот Объединенный отдел ФАО/МАГАТЭ обеспечивает поддержку и координирование осуществляемых во всем мире исследовательских проектов по использованию изотопов и излучений в следующих областях: выведение растений, плодородие почв, ирригация и растениеводство, борьба с насекомыми и сельскохозяйственными вредителями, разведение домашнего скота, ветеринария, химические остатки и загрязнение и сохранение пищевых продуктов. Группа сельского хозяйства Зайберсдорфской лаборатории МАГАТЭ близ Вены поддерживает, когда необходимо, эту деятельность в области обучения, исследования и услуг.

Объединенный Отдел ФАО/МАГАТЭ имеет ряд международных программ, направленных на:

1. выведение высокоурожайных сортов продовольственных культур с высоким содержанием белка;
2. выведение сортов, устойчивых к болезням и различным погодным условиям (иногда выведение ранних сортов, дающих несколько урожаев в год) ;
3. выявление и эффективное использование водных ресурсов;
4. определение путей усвоения удобрений и роли микроэлементов;
5. борьбу с вредителями или их уничтожение;
6. борьбу с потерями урожая во время хранения;
7. повышение продуктивности домашних животных и улучшения ветеринарной службы.

Во всех этих областях изотопы и радиационные методы внесли существенный вклад. Ниже описываются некоторые из всех этих программ, имеющих целью усиление национальных возможностей главным образом в области обучения и специальных знаний.

ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Эффективное использование удобрений имеет важное значение не только потому, что они дорого стоят, но и потому, что для многих стран их приобретение связано с большими расходами иностранной валюты. Неправильное использование удобрений или чрезмерное их применение обходится очень дорого и таит в себе опасность нанесения вреда окружающей среде. Поэтому важно, чтобы до растений дошло максимальное количество внесенных удобрений и чтобы потери удобрений из-за неправильного выбора места, для времени их внесения и т. д. были минимальными.

Удобрения, меченные радиоактивными изотопами, такими, как фосфор-32, или стабильными изотопами, такими, как азот-15, дают возможность определить, какая часть удобрений усваивается растениями и какое количество их попадает в окружающую среду. Азот-15 позволяет также непосредственно оценить количество азота, усвоенного из атмосферы в полевых условиях.



Рисунок 1. Удобрение, меченное стабильным изотопом азот-15, позволяет исследователям определить потребности зерновых культур в питательных веществах и увеличить эффективность использования удобрений.

В одной из стран, принимавших участие в исследовательской программе ФАО/МАГАТЭ по применению азотистых удобрений под маис, было подсчитано, что после того, как фермеры этой страны приняли во внимание сделанные программой выводы о более эффективном внесении удобрений, экономия составила 36 000 000 долл. США в год. При выполнении Шри Ланкой аналогичной программы, связанной с кокосовыми пальмами, было обнаружено, что эффективное использование удобрения дало не только прямую экономию затрат на удобрения, но также ожидаемую потенциальную экономию затрат на производство продукции. Аналогичная программа по такой сельскохозяйственной культуре, как рис, позволила сэкономить миллионы долларов США за счет сокращения затрат на удобрения. Возможно получение дополнительной экономии. Недавно группа экспертов подсчитала, что за счет повышения качества удобрений, улучшения водопользования и методов земледелия можно сэкономить до 50% используемых в настоящее время во всех странах удобрений.

БОРЬБА С НАСЕКОМЫМИ

В то время как часть насекомых имеет важное значение для поддержания экологического баланса, другая часть уничтожает ценные продовольственные культуры. Некоторые насекомые, такие, как москиты и муха цеце, являются разносчиками инфекционных болезней.

Подсчитано, что общие потери урожая во всем мире в результате вреда, наносимого насекомыми, могут достигать до 10% от общего урожая, что равно общему урожаю в таких странах, как США или СССР.

Преимущества биологических методов борьбы заключаются в том, что они воздействуют избирательно на требуемые виды насекомых и помогают защитить окружающую среду, сводя к минимуму использование инсектицидов. Именно в этой области метод стерильных насекомых (МСН) может оказать нам помощь, и по существу этот метод уже успешно используется в некоторых весьма критических случаях. Метод стерильных насекомых состоит в стерилизации с помощью ионизирующих излучений мужских особей насекомых, выращенных в лабораторных условиях. Затем стерилизованные мужские особи в больших количествах выпускаются в районах заражения. Женские особи, которые спариваются со стерилизованными мужскими особями, не дают потомства, и при повторных выпусках стерилизованных мужских особей в данном районе значительно сокращается количество насекомых-вредителей.

Впервые метод стерильных насекомых был успешно применен в борьбе с личинкой мясной мухи — насекомым-паразитом, которое обычно селится в ранах теплокровных животных, особенно домашнего скота, причиняя ему беспокойство. Личинки мясной мухи были стерилизованы и выпущены на острове Кюрасао в Карибском море. В течение нескольких циклов разведения стерильных насекомых паразит практически исчез с этого острова. Позднее МСН был применен в борьбе против личинки мясной мухи в штате Флорида, где ущерб от потери крупного рогатого скота от нее превышал 25 000 000 долл. США в год. В связи с первыми успехами было организовано много исследовательских проектов и изучено более двухсот разновидностей насекомых.

Была проведена большая работа по исследованию плодовой средиземноморской мушки, которая на Капри и других островах увенчалась новым успехом. При использовании вначале инсектицидов, а затем МСН, в Калифорнии недавно был ликвидирован изолированный очаг заражения плодовой средиземноморской мушкой, причем этот метод используется сейчас в крупных масштабах в Центральной Америке при поддержке Объединенного отдела ФАО/МАГАТЭ и его лаборатории. Аналогичным образом уничтожена дынная муха на острове Рота в южной части Тихого океана.

Одним из самых вредных в мире насекомых является муха цеце — носитель паразита, вызывающего сонную болезнь. Муха цеце является одним из основных препятствий на пути социального и экономического развития районов Африки, расположенных к югу от пустыни Сахара, поскольку она поражает как людей, так и крупный рогатый скот.



Рисунок 2. Заражение белой почечковидной фасоли долгоносиком может быть фактически устранено с помощью малых доз гамма-облучения.

Для того чтобы иметь возможность использовать метод стерильных насекомых в случае мухи цеце, Объединенный отдел ФАО/МАГАТЭ должен был решить вначале проблему экономичности выращивания мухи цеце в больших количествах в лабораторных условиях. Серьезную трудность также представила проблема эффективности контроля, однако был разработан простой метод, основанный на микроскопическом исследовании систем воспроизводства женских особей. В настоящее время энтомологи считают возможным начать осуществление крупномасштабного проекта по уничтожению мухи цеце, в котором МСН включен в общую схему борьбы с насекомыми-вредителями. Некоторые успешные пробные эксперименты уже проведены в районе Верхней Вольты. Один крупный проект осуществляется в Танге (Танзания), а другой — в Нигерии.

МУТАЦИИ

В течение последних 15 лет вызванные облучением генетические изменения все более широко используются для улучшения сортов зерновых растений, причем мутационное выведение стало установившейся частью методов выведения растений. Около двухсот сортов зерновых растений, созданных с использованием индуцированных мутаций, и такое же количество декоративных культур были признаны соответствующими национальными службами пригодными для распространения и утверждены для коммерческого производства. Многие из них стали экономически важными.

Примером успешной селекции растений с помощью мутаций является выведение в Венгрии в сотрудничестве с Зайберсдорфской лабораторией МАГАТЭ нового сорта риса, устойчивого к наносящей большой ущерб болезни риса "бласт". Первоначально в Венгрии был испытан французский сорт "цезарио", обладающий, как известно, высокой устойчивостью к этой и другим болезням риса. Однако для Венгрии он оказался слишком поздним сортом и в холодное лето давал низкий урожай, а в отдельных случаях не вызревал вообще. Цель генетических изменений в данном случае была совершенно ясной. Необходимо было осуществить такие мутации, которые обеспечили бы раннее созревание при сохранении высокой устойчивости к болезни "бласт" и других ценных характеристик. Образцы по тысяче семян сорта риса "цезарио" облучались различными дозами гамма-излучения и быстрых нейтронов. Облученные семена были высеяны, и во втором поколении была начата селекция по раннему цветению, которая была продолжена в третьем поколении. Было обнаружено, что один из мутантов, полученных в результате облучения быстрыми нейтронами, дал колос на три недели раньше, чем материнский сорт. Семена этого мутантного риса были размножены. В последующих поколениях эта мутантная линия показала весьма быстрое прорастание и ранний рост, фактически на 28 дней раньше, чем "цезарио". Были проведены дальнейшие опыты, причем мутант показал хорошие результаты при проведении различных испытаний с использованием больших и малых количеств азотных удобрений. Кроме того, способность к прорастанию оказалась весьма хорошей. Таким образом, путем сравнительно несложных исследований в области мутаций была решена неотложная проблема. Был выведен мутант риса с ранним вызреванием и высокой сопротивляемостью к болезням, который можно было использовать как непосредственно, так и для выведения новых сортов риса путем скрещивания. Этот мутант был официально рекомендован как новый сорт для коммерческих целей в 1976 году под названием "нуклеори-2А".

Во многих странах используются десятки аналогичных успешных мутантов, например, высокоурожайный мутант хлебных злаков с короткой и жесткой соломой, который может потреблять повышенные дозы удобрений для увеличения урожайности зерна. Фактически в настоящее время большинство площадей под яровой ячмень в Чехословакии и Германской Демократической Республике засеваются полученными с помощью облучения мутантами и выведенными впоследствии сортами, улучшенными затем путем скрещивания.

В качестве другого примера можно привести улучшенный гибрид перлового проса, успешно выращиваемый на площади в несколько миллионов гектаров в Индии. В результате широкого распространения ложной мучнистой росы, особенно в гибридах, производство перлового проса, возросшее в 1970 году до 8 млн. тонн, упало в 1974 году до 3,6 млн. тонн. В различных районах эта болезнь поразила от 30 до 100% посевов.

Это связано прежде всего с тем, что мужская стерильная линия гибридов перлового проса стала настолько восприимчивой к болезни, что уже не могла больше противостоять ей. Попытки выработать у мужской линии сопротивляемость этой болезни путем облучения привели к созданию линии, очень стойкой к ложной мучнистой росе. После того как эта линия была распространена, она заменила все штаммы стерильной линии и стала единственной мужской стерильной линией, широко культиви-



Рисунок 3. У радиационно-ослабленной вакцины против диктиокалеза овец большое будущее в борьбе с этой болезнью в развивающихся странах.

вируемой в Индии. При этом урожай в итоге должен возрасти более чем на 3 млн. тонн, что в стоимостном выражении составит 300-400 млн. долл. США в год.

СОХРАНЕНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Потеря в результате порчи микробами и вредителями 25-30% выращенного урожая — слишком большая роскошь для нашей планеты, испытывающей недостаток продуктов питания. Еще большее сожаление вызывает тот факт, что наибольшие потери урожая имеют место в развивающихся странах. Нередко увеличения срока хранения отдельных продуктов (например, рыбы и фруктов) на несколько дней достаточно для того, чтобы уберечь эти продукты от порчи.

Прошло более 25 лет с тех пор, как было установлено, что путем облучения можно увеличить срок хранения некоторых пищевых продуктов. С тех пор на проведение исследований пригодности обработанных излучением пищевых продуктов были израсходованы миллионы долларов. За эти 25 лет исследований таких пищевых продуктов вредных воздействий на животных или человека обнаружено не было. Однако некоторые организации не спешат с признанием этого дешевого и эффективного метода сохранения пищевых продуктов. В настоящее время полученные результаты стали настолько убедительными, что позиция соответствующих органов меняется, и некоторые облученные пищевые продукты поступают для общего потребления.

В настоящее время эксплуатируется не менее 70 научно-исследовательских и опытно-промышленных установок по облучению пищевых продуктов. Проявляемый в последнее время правительствами интерес к использованию облучения пищевых продуктов подтверждается тем фактом, что большая часть облучателей была создана в течение последних 5-10 лет.

Экономический анализ облучения пищевых продуктов показывает, что этот процесс может обладать положительным коэффициентом рентабельности. В зависимости от размера установки (годовая пропускная способность) общие эксплуатационные расходы на этот новый процесс колеблются от 0,9 до 3,2% стоимости продукта при подавлении прорастания картофеля и лука, от 0,19 до 1,24% при уничтожении вредителей зерновых и от 0,2 до 2% при продлении срока хранения рыбы.

ФАО и МАГАТЭ координируют исследования во многих странах, например в Юго-Восточной Азии и на Дальнем Востоке, с целью продления срока хранения свежей и сушеной рыбы – наиболее важного белкового продукта для развивающихся стран.

ЖИВОТНОВОДСТВО И ВЕТЕРИНАРИЯ

Во многих районах мира развитие животноводства сдерживают слабый рост, низкая продуктивность и низкие надои молока крупного рогатого скота, что ограничивает доступность таких используемых человеком продуктов животноводства, как мясо, молоко, яйца, волокна, кожи и т.д. Низкая продуктивность животноводства является следствием недостаточного или несбалансированного питания, отсутствия адаптации к преобладающим климатическим условиям и паразитических и других болезней.

Скоординированные научно-исследовательские программы по изучению небелкового азотистого обмена с использованием азота-15 и использованию грубых кормов низкого качества и агропромышленных субпродуктов для жвачных животных вместе с исследованиями минерального дисбаланса помогают найти новые подходы к кормлению скота в странах, где испытывается недостаток традиционных кормов для жвачных животных.

Программа, в которой для измерения гормональных измерений во время цикла воспроизводства крупного рогатого скота и буйволов используются методы радиоиммуноанализа, обеспечивает повышение эффективности воспроизводства путем выработки улучшенных методов ухода и более эффективного использования методов искусственного осеменения.

Основное ограничение повышения производительности связано с паразитическими и другими болезнями. Изотопные методы не только дают четкую картину воздействия паразитов на хозяина, но также показывают, каким образом можно изменить содержание генотипы (породы и виды), для того чтобы уменьшить воздействие паразита или болезни на производительность.

Для получения ослабленной вакцины против диктиокоалеза у крупного рогатого скота и овец успешно использовалось ионизирующее излучение, и эта технология переносится в те районы мира, где борьба с этой паразитической болезнью с экономической точки зрения играет важную роль, например, в Бразилию, Индию, Эфиопию.